

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА»
для студентів спеціальностей
«Комп'ютерні науки та інформаційні технології»,
«Телоенергетика», «Атомна енергетика»
теплоенергетичного факультету та «Екологія»
інституту енергозбереження та енергоменеджменту

*Ухвалено Методичною радою факультету
електроенерготехніки та автоматики
(протокол № 5 від 28.12.2016 р.)*

Київ
НТУУ «КПІ»
2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА І ЕЛЕКТРОНІКА»
для студентів спеціальностей
«Комп'ютерні науки та інформаційні технології»,
«Теплоенергетика», «Атомна енергетика»
теплоенергетичного факультету
та «Екологія»
інституту енергозбереження та енергоменеджменту

*Ухвалено Методичною радою факультету
електроенерготехніки та автоматики
(протокол № від .. 2016 р.)*

Київ
НТУУ «КПІ»
2016

Метод. вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехніка і електроніка» / Уклад.: Д.К. Зіменков, В.В. Михайленко, О.М. Скринник, Ю.М. Чуняк – К.: НТУУ «КПІ» 2016. – 47 с.

Навчальне видання
Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА І ЕЛЕКТРОНІКА»
для студентів спеціальностей
«Комп'ютерні науки та інформаційні технології»,
«Теплоенергетика», «Атомна енергетика»
теплоенергетичного факультету
та «Екологія»
інституту енергозбереження та енергоменеджменту

Укладачі: *Зіменков Дмитро Костянтинович, ст.викл.*

Михайленко Владислав Володимирович, канд.техн.наук, доц.

Скринник Олексій Миколайович, ас.

Чуняк Юлія Михайлівна, ас.

Відповідальний редактор :

Сільвестров Антон Миколайович, докт. техн. наук., проф.

Зміст

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження лінійного кола постійного струму.

Дослідна перевірка законів Ома та Кірхгофа 6

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження електричного кола однофазного

синусоїдного струму з послідовним з'єднанням

резистора, індуктивної котушки та конденсатора 12

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження електричного кола однофазного

синусоїдного струму з паралельним з'єднанням

резистора, індуктивної котушки та конденсатора 16

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження електричного кола однофазного

синусоїдного струму з мішаним з'єднанням

резистора, індуктивної котушки та конденсатора 20

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Дослідження явища резонансу напруг в

електричному колі однофазного синусоїдного

струму з послідовним з'єднанням реактивних елементів 25

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Дослідження явища резонансу струмів в

електричному колі однофазного синусоїдного

струму з паралельним з'єднанням реактивних елементів 29

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Дослідження перехідних процесів в лінійних електричних колах з реактивними елементами	33
--	----

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

Дослідження випрямних пристроїв	38
---------------------------------	----

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

Дослідження операційних підсилювачів	43
--------------------------------------	----

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНІВ ОМА ТА КІРХГОФА

Мета роботи: навчитися визначати ЕРС джерела живлення, його внутрішній опір; експериментально перевірити основні закони електричних кіл і методи їх розрахунків.

1.1 Основні теоретичні відомості.

Електричне коло – це сукупність пристроїв, що утворюють шлях для проходження електричного струму, електромагнітні процеси в яких можна описати за допомогою понять про електрорушійну силу, струм і напругу. Елементи електричного кола – це окремі пристрої, що входять до складу кола та виконують в ньому певні функції. Основні елементи електричних кіл – джерела і споживачі електричної енергії. У споживачах електрична енергія перетворюється у теплову, механічну, світлову та інші види енергії. В джерелах – теплова, механічна, світлова, хімічна енергія перетворюється в електричну. У процесі перетворення різних видів енергії в електричну у джерелі виникає ЕРС (електрорушійна сила), яка спричинює електричний струм у замкненому колі. В ході цього перетворення частина енергії втрачається в самому джерелі. Тому джерела характеризуються двома параметрами – ЕРС E та внутрішнім опором R_0 . Споживачі енергії характеризуються тільки опором R . Для зображення і розрахунку електричного кола замінюють електричними схемами, використовуючи умовні зображення. Найпростіше електричне коло зображено на рис. 1.1.

Струм у цьому колі та напругу на його ділянках визначають за допомогою закону Ома, який можна використати як для усього кола, так і для окремих його ділянок.

Закон Ома:

для всього кола
$$I = \frac{E}{R_0 + R};$$

для ділянки без ЕРС
$$I = \frac{U}{R};$$

для ділянки з ЕРС
$$I = \frac{E - U}{R_0}.$$

Тут I – електричний струм, А;
 U – електрична напруга на споживачі, В; R_0 , R – опори джерела та споживача відповідно, Ом.

За законом Ома експериментально можна визначити параметри

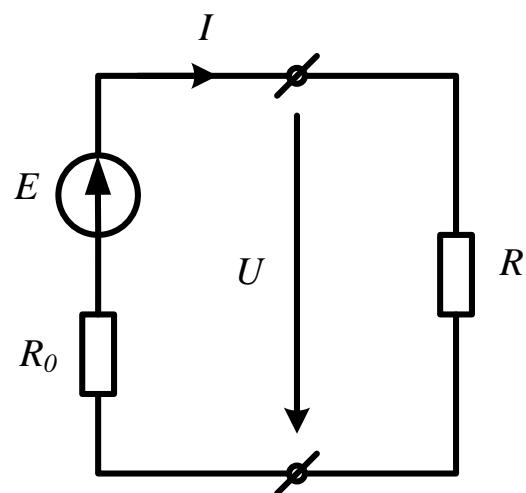


Рис. 1.1

електричного кола, якщо виміряти струм I та напругу U .

Із другого рівняння визначимо опір споживача:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1.1)$$

Третє рівняння дає змогу визначити параметри джерела. Якщо записати $I \cdot R_0 = E - U$ або $E = U + I \cdot R_0$, то в режимі холостого ходу, коли $I = 0$

$$E = U_{x.x}, \quad (1.2)$$

тобто ЕРС джерела дорівнює напрузі на його розімкнених затискачах.

Коли відомі ЕРС джерела та напруга на його затискачах, легко визначити його внутрішній опір:

$$R_0 = \frac{E - U}{I}. \quad (1.3)$$

Простим називається коло, що складається з одного джерела електричної енергії та будь-якої кількості послідовно або паралельно з'єднаних споживачів енергії, які поступовим перетворенням можна звести до одного еквівалентного опору. Складним називають коло, в якому групи споживачів не можна звести до одного еквівалентного опору. Ділянка кола, вдовж якої струм в будь-який момент часу має одне й те саме значення, називається гілкою; точка, в якій з'єднуються три або більше гілки називається вузлом. Будь-який замкнений шлях, утворений декількома гілками, являє собою контур. Контур, в який входить хоча б одна нова гілка, називається незалежним.

Перший закон Кірхгофа випливає із закону повного струму. Його можна сформулювати двояко.

1. Алгебраїчна сума струмів, що сходяться в будь-якому вузлі електричного кола, дорівнює нулю (струми, які входять до вузла, враховують з одним знаком, які виходять з вузла – з іншим):

$$\sum I = 0. \quad (1.5)$$

2. Сума струмів, які входять в будь-який вузол електричного кола, дорівнює сумі струмів, які виходять з цього вузла:

$$\sum I_{\text{вх}} = \sum I_{\text{вих}}. \quad (1.6)$$

Другий закон Кірхгофа також можна сформулювати двояко.

1. Алгебраїчна сума ЕРС, які діють в будь-якому контурі електричного кола, дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг на всіх опорах контуру:

$$\sum E = \sum I \cdot R. \quad (1.7)$$

Визначаючи $\sum E$ та $\sum I \cdot R$ зі знаком “+” враховують E та I , напрям яких збігається з обраним напрямом обходу контуру.

2. Алгебраїчна сума напруг, які діють у будь-якому контурі електричного кола, дорівнює нулю:

$$\sum U = 0. \quad (1.8)$$

Метод розрахунку, який базується на застосуванні законів Кірхгофа, є класичним і основним для розрахунку складних електричних кіл. Інші методи розрахунку ґрунтуються на цих законах, і мета їх використання – зменшити трудомісткість розрахунків.

1.2 Обладнання, яке використовується при виконанні роботи

1. Джерела постійної напруги, одне – регульоване, інше – нерегульоване, з напругою на виході 20-24В.
2. Споживачі енергії R_1 , R_2 , R_3 .
3. Вимірювальні прилади: амперметр, вольтметр.

1.3 Порядок виконання роботи

1. Визначення параметрів основних елементів електричного кола.

1.1. Визначення величини ЕРС E та величини внутрішнього опору R_0 кожного джерела.

1.1.1. Підключивши вольтметр до кожного джерела, виміряти їх ЕРС E_1 та E_2 і записати їх значення у таблицю 1.1.

1.1.2. Скласти коло, показане на рис. 1.2. Ввімкнути нерегульоване джерело живлення і виміряти струм у колі і напругу на затискачах джерела. Обчислити внутрішній опір джерела за

формулою $R_0 = \frac{E - U}{I}$ і записати його значення у табл.1.1.

1.1.3. У колі, показаному на рис. 1.2. замінити нерегульоване джерело живлення регульованим і виміряти струм у колі і напругу на затискачах джерела. Обчислити внутрішній опір джерела за формулою $R_0 = \frac{E - U}{I}$ і

записати його значення у табл.1.1.

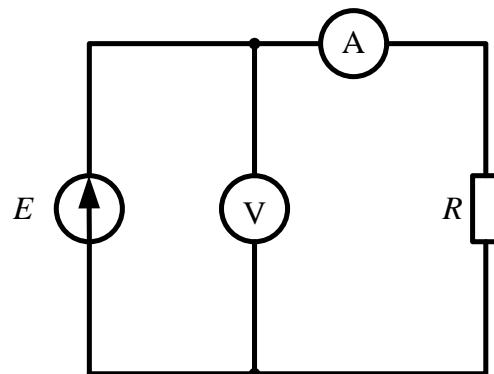


Рис. 1.2

Таблиця 1.1.

E_1 [В]	R_{01} [Ом]	E_2 [В]	R_{02} [Ом]	R_1 [Ом]	R_2 [Ом]	R_3 [Ом]

1.2. Визначити величину опору навантаження, позначеного як R_1 , R_2 , R_3 . Для цього потрібно виконати наступне:

1.2.1. Резистор, величина опору якого буде визначатися, підключити до будь-якого джерела по схемі на рис. 1.2.

1.2.2. Виміряти напругу і струм у колі.

1.2.3. Розрахувати величину опору резистора, користуючись законом Ома:

$$R = \frac{U}{I}$$

Повторити п.1.2.1.-1.2.3 для кожного резистора. Отримані результати записати у табл.1.1.

2. Перевірка у ході експерименту справедливості законів Кірхгофа.

2.1. Скласти коло зображене на рис. 1.3.

2.2. Перевірити справедливості першого закону Кірхгофа. Для цього потрібно:

2.2.1. Виміряти струми з урахуванням їх знаків та занести у табл.1.2. Для правильного урахування знаку струму необхідно дотримуватись однакового підключення амперметра у кожен гілку (наприклад, затискач амперметра позначений “*” включати у верхнє гніздо, а затискач, позначений “mA” – у нижнє).

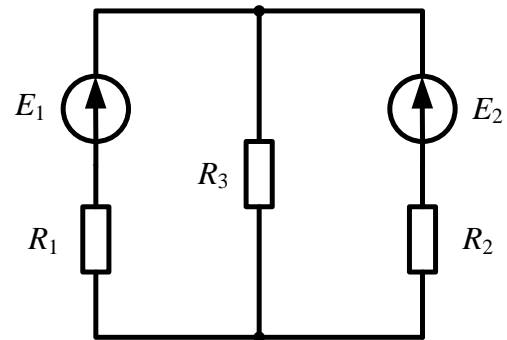


Рис.1.3

2.2.2. Вказати на схемі напрям струмів. За позитивний обирається напрям струму від затискача амперметра “mA” до затискача “*”. Напрямок струму від “*” до “mA” вважати негативним.

2.2.3. За результатами вимірювань переконатися у виконанні першого закону Кірхгофа.

Таблиця 1.2.

$I_1, [A]$	$I_2, [A]$	$I_3, [A]$	$U_{E1} [B]$	$U_{E2} [B]$	$U_{R1} [B]$	$U_{R2} [B]$	$U_{R3} [B]$

2.3. Перевірити справедливості другого закону Кірхгофа. Для цього необхідно:

2.3.1. Позначити полярність напруг на всіх ділянках кола. Струм через резистор тече в напрямку зменшення потенціалу, тобто від точки з більшим потенціалом “+” до точки з меншим потенціалом “-”. Напруга завжди має напрям від “+” до “-”. Тому на резисторі напрями напруги і струму збіга-

ються. Для джерел ЕРС спрямована від “–” до “+”, тому напруга на затискачах джерела ЕРС спрямована назустріч ЕРС.

2.3.2. Виміряти напруги, які вказані в табл.1.2, підключаючи вольтметр у відповідності з позначеною на схемі полярністю напруг (затискач вольтметра “V” підключати до точки “+”).

2.3.3. За результатами вимірювань напруг на різних ділянках кола розрахувати алгебраїчну суму напруг $\sum U$ в усіх можливих контурах і переконатися у справедливості другого закону Кірхгофа.

3. Перевірка справедливості принципу накладання.

3.1. Дослідити коло при дії тільки джерела E_1 :

3.1.1. Замість джерела E_2 ввімкнути резистор R_4 , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору R_{02} джерела E_2 (рис. 1.4).

3.1.2. Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести у табл.1.3.

3.2. Дослідити коло при дії тільки джерела E_2 :

3.2.1. Замість джерела E_1 ввімкнути резистор R_4 , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору R_{01} джерела E_1 .

3.2.2. Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести у табл.1.3.

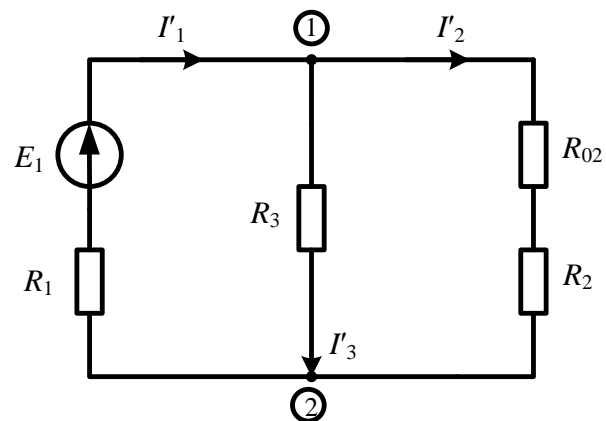


Рис. 1.4

Таблиця 1.3.

Режим роботи ел. кола	Результати вимірювань		
	$I_1, [A]$	$I_2, [A]$	$I_3, [A]$
$E_1 \neq 0, E_2 = 0$			
$E_2 \neq 0, E_1 = 0$			
Результат обчислення			

3.3 Розрахувати дійсні струми I_1 , I_2 , I_3 у кожній гілці, як алгебраїчну суму струмів, спричинених дією E_1 і E_2 окремо.

3.4 Порівняти розраховані струми I_1 , I_2 , I_3 із значеннями, вимірними в досліді з одночасною дією E_1 і E_2 (табл.1.2.); переконатися у справедливості принципу накладання.

1.4. Обробка результатів дослідів

1. Використавши закон Ома, розрахувати за відомими значеннями ЕРС і опорів (табл.1.1) струми у гілках кола, яке показано на рис. 1.3 і порівняти їх з результатами експерименту, записаними у табл.1.2.

2. Розрахувати за законами Кірхгофа струми у колі, показаному на рис.1.3 (значення ЕРС і опорів взяти з табл.1.1). Результати обчислень порівняти з результатами експерименту, записаними у табл.1.2.

3. Розрахувати методом накладання струми у колі, показаному на рис.1.3, результати розрахунків порівняти з даними табл.1.3.

4. Зробити висновки по роботі.

1.5. Контрольні запитання і завдання.

1. Чим відрізняється складне електричне коло від простого?

2. Як визначити з дослідів параметри лінійного електричного кола постійного струму (ЕРС і внутрішній опір джерела електричної енергії, опір приймачів)?

3. Знати закони Ома і вміти їх використовувати.

4. Знати закони Кірхгофа і вміти їх використовувати.

5. Вміти користуватися методом накладання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ РЕЗИСТОРА, ІНДУКТИВНОЇ КОТУШКИ ТА КОНДЕНСАТОРА

Мета роботи – експериментально визначити електричні параметри кола з послідовним з'єднанням активних та реактивних елементів. Навчитися аналізувати електричні процеси в колі за допомогою векторних діаграм.

2.1. Основні теоретичні відомості

Електричний стан кола з послідовним з'єднанням активного опору R , індуктивності L та ємності C (рис. 2.1) описується другим законом Кірхгофа, який записується у комплексній формі наступним чином

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C, \quad (2.1)$$

де $\dot{U}_R = R \cdot \dot{I}$, $\dot{U}_L = jX_L \cdot \dot{I}$, $\dot{U}_C = -jX_C \cdot \dot{I}$ - комплексні напруги на ділянках кола; R - активний опір, $X_L = \omega L$ та $X_C = 1/\omega C$ - реактивні індуктивний та ємнісний опори відповідно; $\omega = 2\pi f$ - кутова частота; f - циклічна частота напруги живлення.

За рівнянням для комплексної напруги на вході кола можна побудувати векторну діаграму струму та напруг електричного кола. Вектор напруги \dot{U}_R на активному опорі збігається з напрямом струму \dot{I} , вектор напруги на індуктивності \dot{U}_L випереджає струм на 90° , а на ємності \dot{U}_C - відстає на 90° . Побудовану таким чином діаграму подано на рис. 2.2.

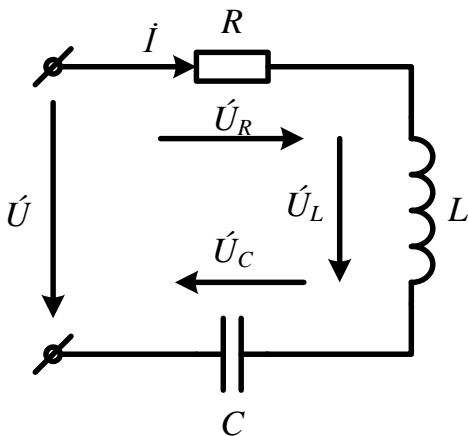


Рис. 2.1

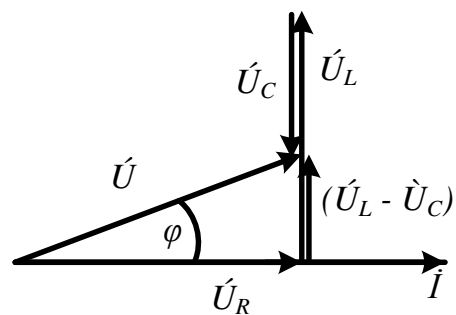


Рис. 2.2

Враховуючи складові \dot{U}_R , \dot{U}_L та \dot{U}_C , рівняння (2.1) перетворюється до вигляду $\dot{U} = R\dot{I} + jX_L\dot{I} - jX_C\dot{I} = [R + j(X_L - X_C)]\dot{I} = \underline{Z}\dot{I}$, або до виду

рівняння, записаного в комплексній формі за законом Ома для всього кола $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}}$, де $\underline{Z} = R + j(X_L - X_C)$ – комплексний опір кола з послідовним з’єднанням активних та реактивних елементів. Модуль комплексного опору (повний опір) кола синусоїдного струму: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$.

Взаємозв’язок між діючими значеннями струму, напруги та повним опором кола визначається співвідношеннями $U = IZ$ або $I = U/Z$.

Із трикутника напруг, поданого на векторній діаграмі 2.2, можна отримати трикутник опорів, якщо сторони трикутника напруг поділити на струм $Z = \frac{U}{I}$, $R = \frac{U_R}{I}$, $X = X_L - X_C = \frac{U_L - U_C}{I}$. Співвідношення між опорами (сторонами трикутника наступні): $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, $R = Z \cos \varphi$, $X = Z \sin \varphi$. З трикутника опорів також випливає, що $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$, $\sin \varphi = \frac{X}{Z}$.

2.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами для вимірювання і обладнанням панелей №3, №4 стенда та вимірювальним комплектом K505.

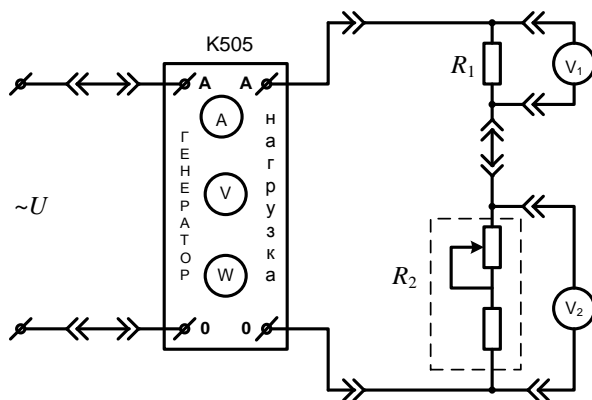


Рис. 2.3

2. Скласти відповідно до рис. 2.3 схему послідовного з’єднання двох активних опорів R_1 і R_2 .

3. Подати на електричне коло напругу, величину якої визначає керівник занять та виміряти величини, наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Дані вимірювань					Результати обчислень			
I	U	P	U_{R1}	U_{R2}	R	R_1	R_2	$\cos \varphi$
А	В	Вт	В	В	Ом	Ом	Ом	

4. Скласти схему з послідовним з'єднанням опору R_1 та котушки індуктивності (рис. 2.4а). Для цього необхідно замінити активний опір R_2 на котушку з активним опором R_k та індуктивністю L_k розташовану на панелі №4. Провести вимірювання величин відповідно до табл. 2.2.

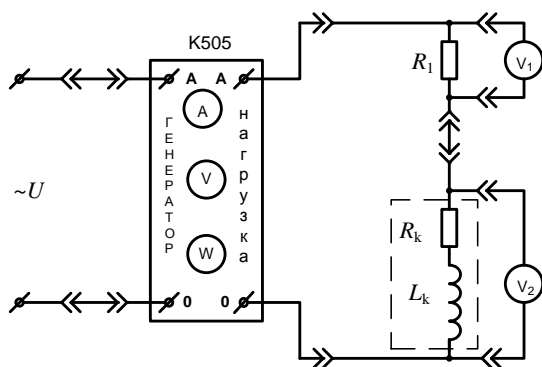
Таблиця 2.2

Дані вимірювань					Результати обчислень									
					Котушка					Усе коло				
I	U	P	U_1	U_2	Z_k	R_k	X_k	$\cos \varphi_k$	L	Z	R	U_a	U_p	$\cos \varphi$
А	В	Вт	В	В	Ом	Ом	Ом		Гн	Ом	Ом	В	В	

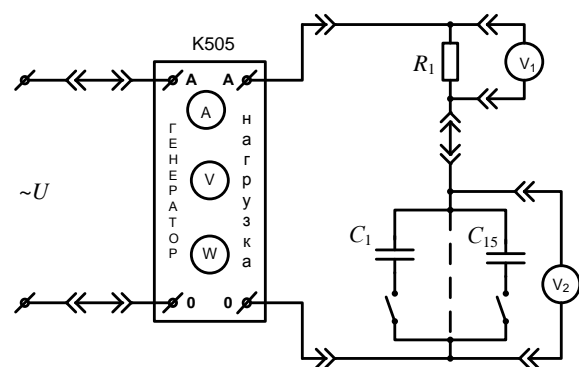
5. Скласти схему з послідовним з'єднанням опору R_1 та ємністю (рис. 2.4б). Для цього необхідно замінити котушку індуктивності блоком конденсаторів, розташованого на панелі №4. Величину ємності встановити за вказівкою керівника. Виміряти величини, наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Дані вимірювань					Результати обчислень							
					Конденсатор		Усе коло					
I	U	P	U_1	U_2	X_C	C	Z	R	U_a	U_p	$\cos \varphi$	
А	В	Вт	В	В	Ом	мкФ	Ом	Ом	В	В		



а



б

Рис. 2.4

2.3. Опрацювання результатів вимірювань

1. За даними вимірювань розрахувати значення, вказані в табл. 2.1.
Побудувати в масштабі за даними вимірювань векторну діаграму струмів та напруг кола.
2. За даними вимірювань аналітично розрахувати значення вказані в табл. 2.2; 2.3 за формулами: $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$, $U_a = U \cdot \cos \varphi$, $U_p = \sqrt{U^2 - U_a^2}$,
 $U_{ka} = U_a - U_1$, $\sin \varphi_k = \frac{U_p}{U_2}$, $\cos \varphi_k = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_k}$, $Z_k = \frac{U_2}{I}$, $R_k = \frac{U_{ka}}{I}$,
 $X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k$, $Z = \frac{U}{I}$, $R = Z \cos \varphi$, $\varphi = \arctg \frac{X_k - X_C}{R}$, $f = 50$ Гц,
 $L = \frac{X_k}{2\pi f}$, $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$.
Побудувати в масштабі за даними табл. 2.2 і 2.3 векторні діаграми напруги і струму.
3. За даними в табл. 2.1, 2.2, 2.3 написати в комплексній формі вирази опорів котушки, резистора та конденсатора. Зробити висновки про виконану роботу.
4. Записати рівняння миттєвого значення струму, вхідної напруги та напруг на опорах R_1 та R_2 , вважати величину початкової фази джерела напруги рівною нулю ($\psi_u = 0$).

2.4. Запитання і завдання для самоперевірки

1. Використовуючи результати вимірювань, показати, як виконується другий закон Кірхгофа для діючих значень напруг.
2. Пояснити, як за показами приладів обчислено R_1 , R_2 , L , C .
3. Пояснити принцип побудови векторних діаграм для окремих випадків R, L, C кіл. Графічна побудова з допомогою циркуля.
4. Написати комплекси напруг на затискачах котушки і конденсатора. Порівняти ці величини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ РЕЗИСТОРА, ІНДУКТИВНОЇ КОТУШКИ ТА КОНДЕНСАТОРА

Мета роботи – експериментально визначити параметри кола з паралельним з'єднанням активних та реактивних елементів; навчитися будувати векторні діаграми за даними досліду та за їх допомогою аналізувати електричні процеси в колі.

3.1. Основні відомості та рекомендації

Прикладом електричного кола синусоїдного струму з паралельним з'єднанням споживачів може служити коло, представлене на рис. 3.1. Якщо розглядати окремі паралельні вітки цього кола, як незалежні електричні кола, то для кожної з них можна побудувати векторну діаграму, прийнявши, що $X_{L1} > X_{C1}$ та $X_{L2} < X_{C2}$ (рис. 3.2).

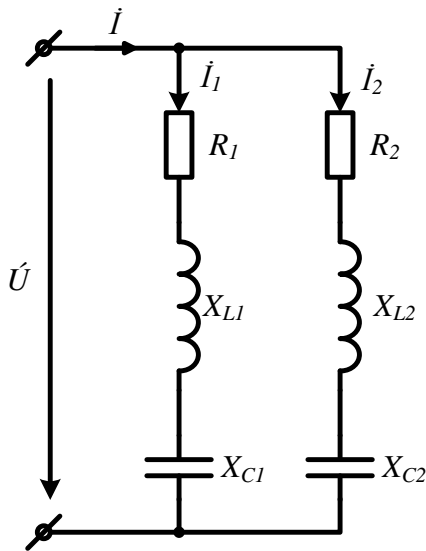


Рис. 3.1

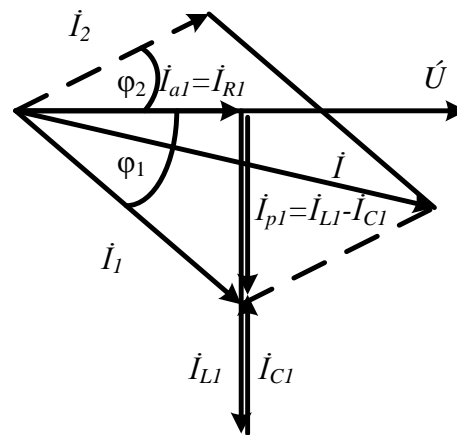


Рис. 3.2

Для електричного кола з паралельним з'єднанням елементів, у відповідності з першим законом Кірхгофа, струм \dot{I} в нерозгалуженій частині кола дорівнює векторній сумі струмів паралельних віток $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$.

Для кола на рис. 3.1 вираз для струму \dot{I} набуває вигляду

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1} + \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2} = \dot{U} \cdot \underline{Y}_1 + \dot{U} \cdot \underline{Y}_2 = \dot{U} \cdot (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2) = \dot{U} \cdot \underline{Y},$$

де $\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2$ - комплексна провідність кола, яка у випадку паралельного з'єднання елементів дорівнює сумі відповідних комплексних провідностей паралельних віток.

Тоді комплексна провідність всього кола дорівнює
 $\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = (G_1 + G_2) - j(B_1 - B_2) = G - jB$.

Модуль повної провідності визначається за формулою:

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_1 + B_2)^2}.$$

Якщо кожний вектор струму на векторній діаграмі рис. 3.2 поділити на вектор напруги \dot{U} , отримаємо подібний трикутник провідностей для даного кола. З урахуванням вищенаведеного, повна, активна та реактивна потужності визначаються через відповідні провідності

$$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = U^2 \cdot G_1, \quad Q_1 = U \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 = U^2 \cdot B_1, \quad S_1 = U \cdot I_1 = U^2 \cdot Y_1.$$

3.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами для вимірювання і обладнанням панелей №3, №4 стенда та вимірювальним комплектом К505.

2. Скласти коло з паралельним з'єднанням двох активних опорів R_1 і R_2 відповідно до рис. 3.3, де A_1 і A_2 – амперметри, які розташовані на панелі №3.

3. Встановити величину напруги на вході за вказівкою керівника занять і визначити величини наведені в табл.3.1

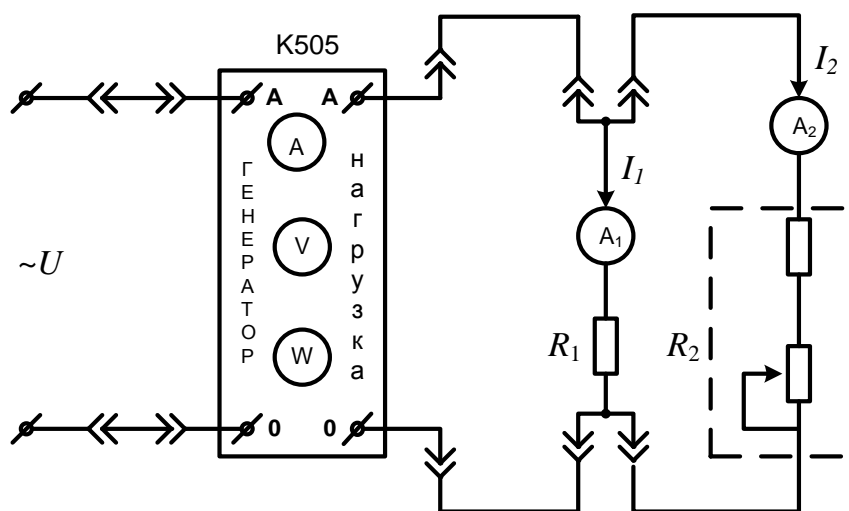


Рис. 3.3

Таблиця 3.1

Дані вимірювань					Результати обчислень		
I	U	P	I_1	I_2	G_1	G_2	Y
А	В	Вт	А	А	См	См	См

4. Скласти коло з паралельним з'єднанням активного опору R_1 та котушки індуктивності. Для цього необхідно замінити активний опір R_2 на котушку з активним опором R_k та індуктивністю L_k розташовану на панелі №4. Провести вимірювання величин відповідно до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Дані вимірювань					Результати обчислень									
					котушка				усе коло					
I	U	P	I_1	I_2	Y_K	G_k	B_K	$\cos \varphi_K$	Y	G	B	$\cos \varphi$	I_a	I_p
А	В	Вт	А	А	См	См	См		См	См	См		А	А

5. Скласти коло з паралельним з'єднанням опору R_1 та батареї конденсаторів. Для цього необхідно замінити котушку індуктивності блоком конденсаторів, розташованого на панелі №4. Величину ємності встановити за вказівкою керівника. Виміряти величини, наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Дані вимірювань						Результати обчислень							
						Конденсатор	Усе коло						
I	U	P	I_1	I_2	C	B_C	Y	G	B	$\cos \varphi$	I_a	I_p	
A	B	Вт	A	A	мкФ	См	См	См	См		A	A	

3.3. Опрацювання результатів вимірювань

1. Визначити величини, наведені в табл.3.1 на підставі таких формул: $G_1 = \frac{I_1}{U}$; $G_2 = \frac{I_2}{U}$; $G = \frac{I}{U}$; побудувати векторну діаграму струмів.

2. Визначити величини наведені в табл. 3.2. $\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$;
 $I_a = I \cdot \cos \varphi$; $I_p = \sqrt{I^2 - I_a^2}$; $I_{ka} = I_a - I_1$; $\sin \varphi_k = \frac{I_{kp}}{I_2}$; $\cos \varphi_k = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_k}$;
 $Y_k = \frac{I_2}{U}$; $G_k = Y_k \cdot \cos \varphi_k$; $B_k = \sqrt{Y_k^2 - G_k^2}$; $Y = \frac{I}{U}$; $G = Y \cdot \cos \varphi$; $B = Y \cdot \sin \varphi$;
 $\varphi = \arctg \frac{B_k - B_C}{G}$, де Y_k , G_k , B_k , φ_k – повна провідність, активна складова і реактивна складова провідності та кут зсуву фаз на котушці. Побудувати вектору діаграму струмів і напруги у колі. Порівняти теоретичні й практичні результати розрахунку φ_k .

3. Визначити величини наведені у табл. 3.3, використовуючи формули: $\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$; $I_a = I \cdot \cos \varphi$; $I_p = \sqrt{I^2 - I_a^2}$; $Y = \frac{I}{U}$; $G = Y \cdot \cos \varphi$; $B_C = Y \cdot \sin \varphi$. Побудувати вектору діаграму струмів і напруги у колі.

4. Написати в комплексній формі за даними табл. 3.1; 3.2; 3.3 вирази провідностей котушки, активного опору і конденсатора. Зробити короткі висновки про виконану роботу.

3.4. Запитання і завдання для самоперевірки

1. Використовуючи результати вимірювань, показати, як виконується перший закон Кірхгофа.

2. Показати, як на підставі вимірювань обчислено Y , G , B .

3. Пояснити, як використовуючи покази лише вольтметра та амперметра, будується векторна діаграма для $R-L$, $R-C$ та $R-L-C$ кола.

4. Для випадку резонансу струмів напишіть вирази для струмів віток кола. Порівняйте їх величини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З МІШАНИМ З'ЄДНАННЯМ РЕЗИСТОРА, ІНДУКТИВНОЇ КОТУШКИ ТА КОНДЕНСАТОРА

Мета роботи: дослідити електричне коло за його еквівалентними параметрами, визначати коефіцієнт потужності споживачів, дослідити електричний стан кола без та з компенсуючою ємністю.

4.1 Основні теоретичні відомості

Розрахунки електричних кіл синусоїдального струму з мішаним з'єднанням, що має одне джерело ЕРС виконується послідовно, шляхом поетапного знаходження еквівалентного опору кола, а потім зворотнім шляхом визначення відповідної напруги та струмів. Для електричного кола, що наведено на рис. 4.1, маємо таку послідовність обчислень.

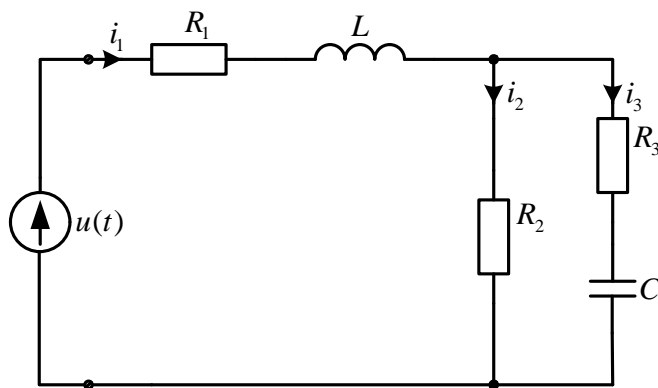


Рис. 4.1

Спочатку визначається еквівалентний опір паралельно з'єднаних гілок. Шляхом перетворень опір розділяється на дійсну та уявну складові, тобто ділянка кола з паралельним з'єднанням гілок замінюється одним комплексним опором.

Далі обчислюється еквівалентний опір кола. Наступним кроком визначається струм в

загальній гілці схеми.

Визначається величина напруги на затискачах паралельно з'єднаних гілок та обчислюються струми в паралельних гілках схеми. Після обчислення струмів та напруг на елементах схеми будується векторна діаграма, яка пояснює взаємозв'язок між ними.

Завдання. Споживачі з активним та активно-індуктивним характером навантаження і напругою на їх затискачах з'єднані лінійною електропередачею з ідеальним джерелом ЕРС $e(t)$ промислової частоти, рис. 4.2. Необхідно виконати наступне:

1. Визначити діючі значення струму, ЕРС і потужність джерела та потужність і коефіцієнт потужності споживачів.

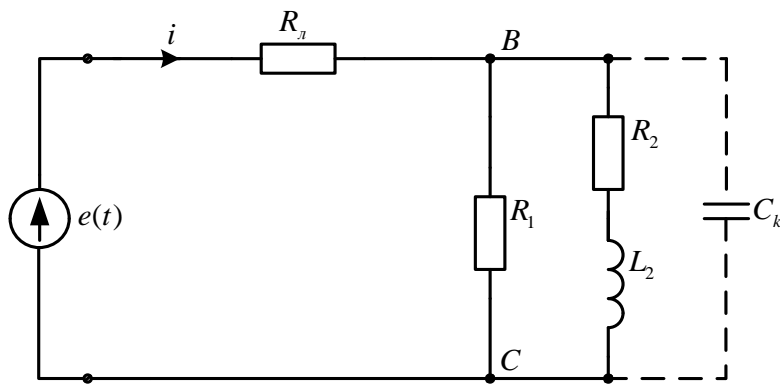


Рис. 4.2

2. Визначити значення компенсаційної ємності C_K , приєднання якої паралельно до споживачів забезпечить активно-ємнісний характер навантаження із заданим коефіцієнтом потужності.

$$C = \frac{P_C (tg(\varphi_1) + tg(\varphi_k))}{\omega U^2},$$

де P_C – активна потужність споживачів, ω – кутова частота струму, U – напруга на затискачах споживачів.

Обчислити діючі значення струму і ЕРС джерела, потужності і коефіцієнта потужності споживачів після приєднання компенсуючої ємності.

3. Виконати дослідження електричного кола відповідно до пунктів 1 та 2 в середовищі EWB.

Приклад результати дослідження електричного кола в середовищі EWB (версія 6.02) показані на рис. 4.3. Покази вимірювальних приладів повинні підтвердити результати розрахунків.

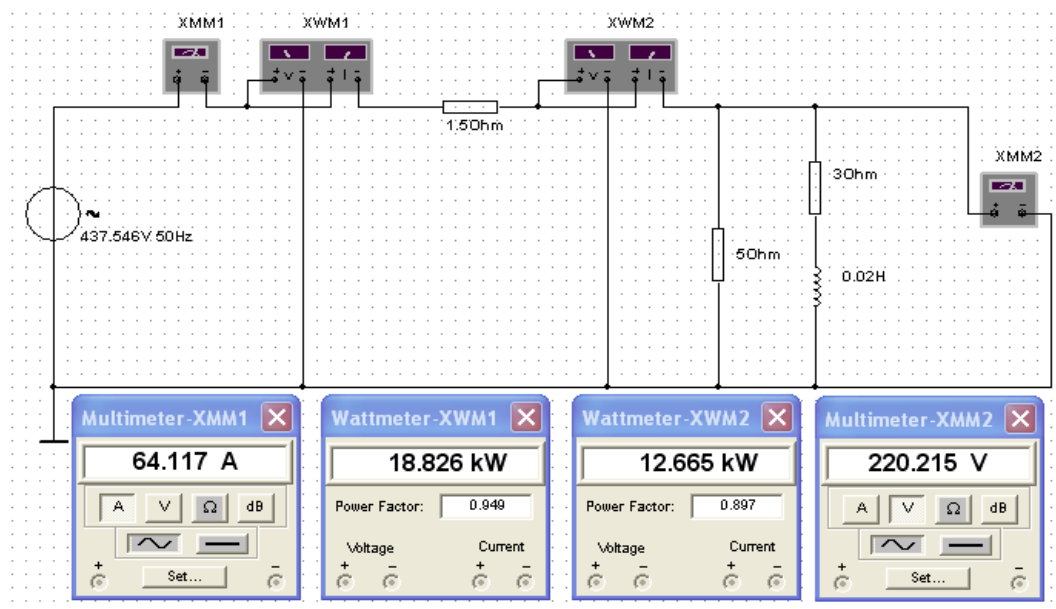


Рис. 4.3

Послідовність виконання роботи

Відповідно до показів вимірювальних приладів за експериментальними дослідженнями споживача та даними лінії, таблиця 4.1, виконати наступне:

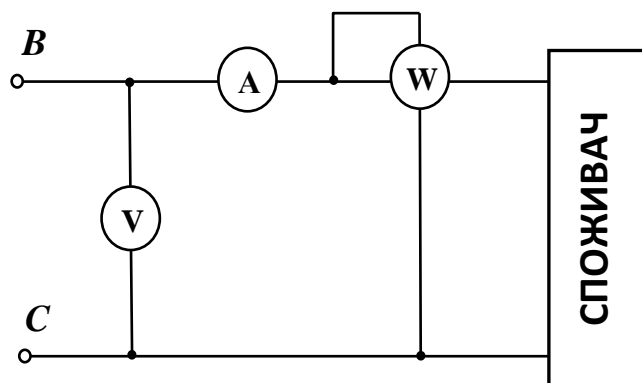


Рис.4.4

Таблиця 4.1

Показ вольтметра U_{BC} , [В]	Показ амперметра I_C , [А]	Показ ватметра P_C , [Вт]	Лінія	
			l , [м]	R , [Ом]

1. Визначити еквівалентні параметри паралельної схеми заміщення споживача, його коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ та ЕРС джерела E для забезпечення напруги споживача відповідно до показу вольтметра та втрат напруги в лінії ΔU_L . Результати розрахунків записати в табл. 4.2. Примітка: питомий опір $\rho=0.028$ Ом мм²/м.

Таблиця 4.2

$Y_{екв}$, [1/Ом]	$G_{екв}$, [1/Ом]	$R_{екв}$, [Ом]	$B_{екв}$, [1/Ом]	$X_{екв}$, [Ом]	L , [Гн]	$\cos\varphi$,	E , [В]

2. Побудувати модель кола живлення споживача (рис. 4.5) з вимірювальними приладами:

- амперметра і двох ватметрів для вимірювання відповідно струму та потужностей споживача і джерела;
- вольтметра для вимірювання напруги споживача та спаду напруги в лінії;
- осцилографа для спостереження часових діаграм напруги споживача та струму в лінії.

3. Встановити параметри моделі кола живлення споживача згідно з даними табл. 4.2. Виконати моделювання. Результати моделювання подати у вигляді рис. 4.5 і рис. 4.6, а покази вимірювальних приладів та визначене значення втрат напруги в лінії записати в 1-й рядок табл. 4.3.

4. Визначити значення компенсуючої ємності C_K , приєднання якої паралельно до споживача забезпечить заданий коефіцієнт потужності, $\cos\varphi_K$, струми в лінії і компенсуючій ємності, потужність джерела та втрати напруги в лінії. Результати розрахунків записати в 2-й рядок табл. 4.3.

5. Установити в моделі електричного кола згідно з п. 4 значення ЕРС джерела та приєднати паралельно до споживачів гілку з компенсуючою ємністю C_K . Виконати моделювання. Результати моделювання подати у вигляді рис. 4.5 і рис. 4.6, а покази вимірювальних приладів записати в 3-й рядок табл. 4.3.

Таблиця 4.3

№ рядка	Струми, А			ЕРС і потужність джерела та втрати напруги в лінії			Параметри споживача	
	I	I_C	I_K	E , [В]	P_D , [Вт]	ΔU_L , [В]	U_{ec} , [В]	P_C , [Вт]
1								
2								
3								

6. Визначити кути зсуву фаз між струмом в колі і ЕРС джерела за допомогою візирних ліній розширеної моделі осцилографа та побудувати сумісні топографічні векторні діаграми напруг та векторні діаграми струмів для кіл без та з компенсуючою ємністю.

7. Порівняти результати моделювання та розрахунків і зробити висновки.

4.3 Контрольні запитання та завдання

1. У чому полягає проблема коефіцієнта потужності і як її вирішують?

2. До мережі синусоїдальної напруги $u=310.2\sin(\omega t+45^\circ)$ промислової частоти увімкнено паралельно ідеальну індуктивність $L=70.064$ мГн і конденсатор ємністю $C=289.52$ мкФ. Визначити показ амперметра.

3. До мережі синусоїдальної напруги $u=141\sin(\omega t+\pi/6)$ промислової частоти паралельно увімкнено резистор з опором $R=10$ Ом і конденсатор ємністю $C=318.47\mu\text{кФ}$. Визначити показ ватметра.

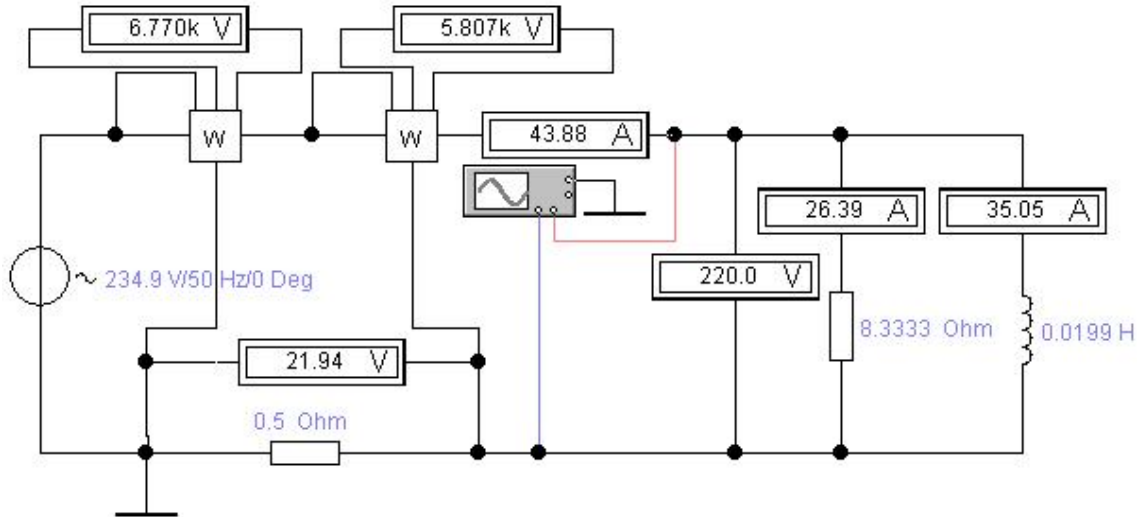


Рис. 4.5

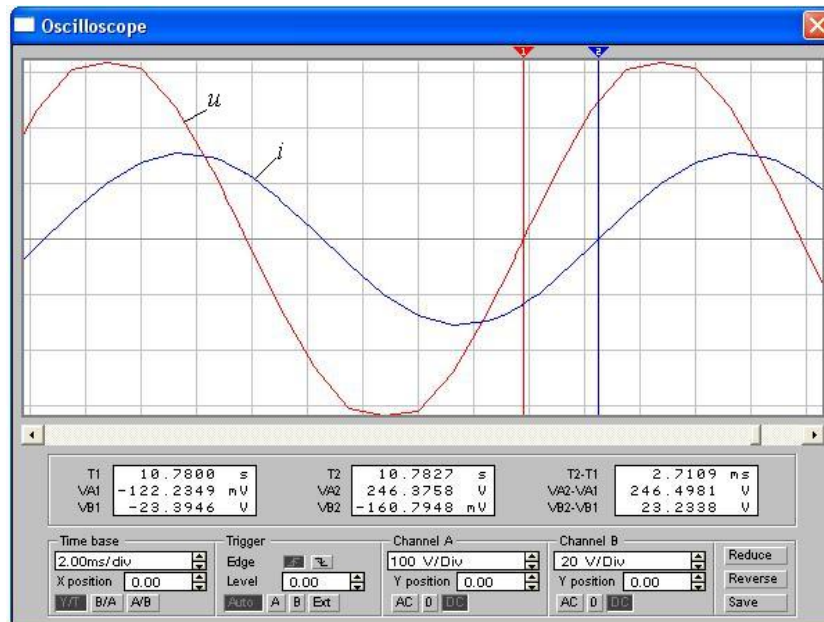


Рис. 4.6

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА РЕЗОНАНСУ НАПРУГ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ КОЛІ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ РЕАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета роботи – дослідити явище резонансу напруг. Навчитися аналізувати електричні процеси в колі за допомогою векторних діаграм.

5.1. Основні теоретичні відомості

В колі з послідовним з'єднанням індуктивного та ємнісного елементів можливий особливий стан, коли кут зсуву фаз між струмом та напругою на вході кола дорівнює нулю. Цей стан називається резонансом напруг і виникає коли індуктивний опір кола дорівнює ємнісному:

$$X_L = X_C \text{ або } \omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

Із наведених виразів випливає, що резонанс можна отримати змінюючи індуктивність, ємність або частоту прикладеної напруги, а також одночасно змінюючи параметри кола. Якщо змінювати ємність конденсатора, то змінюється ємнісний опір та повний опір кола. Відповідно, змінюються струм, коефіцієнт потужності, напруги на котушці індуктивності та конденсаторі, повна, активна та реактивна потужності кола. Залежності струму I , коефіцієнта потужності $\cos\varphi$ та повного опору Z кола синусоїдного струму від ємнісного опору (резонансні криві) подано на рис. 5.1. Векторну діаграму струмів та напруг цього кола подано на рис. 5.2.

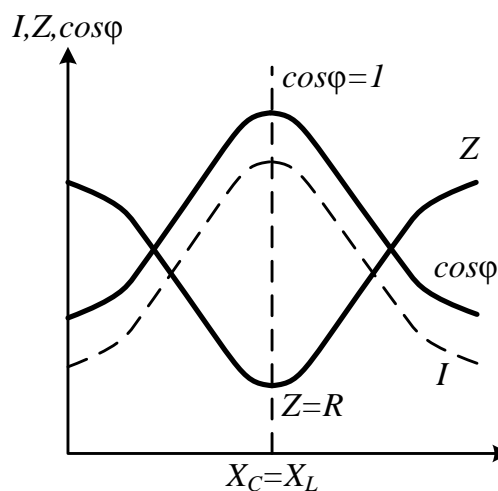


Рис. 5.1

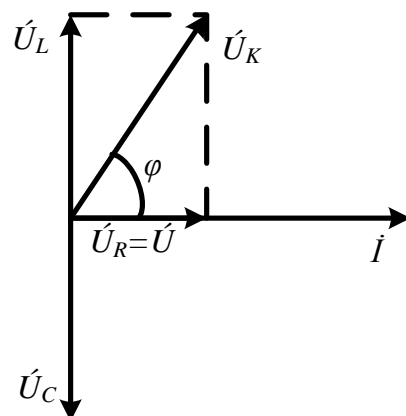


Рис. 5.2

Як можна побачити з векторної діаграми, реактивна складова напруги U_L на котушці під час резонансу дорівнює напрузі на конденсаторі U_C . Оскільки у котушки крім реактивного опору X_L є ще й активний R , то напруга на котушці U_K більше напруги на конденсаторі. Тому точка резонансу визначається за максимумом струму в колі.

Проаналізувавши наведені вирази, а також рис. 5.1 та 5.2, можна зробити наступні висновки:

1. Під час резонансу повний опір кола має мінімальне значення та дорівнює активному $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$.

2. З п.1 випливає, що за незмінної напруги живлення, струм в колі приймає максимальне значення.

3. В стані резонансу коефіцієнт потужності $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{R} = 1$, тобто приймає максимальне значення, якому відповідає $\varphi = 0$. Вектори струму I та напруги живлення U мають однаковий напрям, оскільки мають однакові початкові фази $\psi_u = \psi_i$.

4. Активна потужність під час резонансу $P = I^2 R$ максимальна і дорівнює повній потужності S ; реактивна потужність Q дорівнює нулю.

5. Напруги на індуктивності та ємності однакові $U_L = U_C$ і можуть бути більшими, ніж напруга живлення; напруга на активному опорі дорівнює вхідній $U_R = U$.

Резонанс напруг в промисловому електротехнічному устаткуванні є небажаним та небезпечним, оскільки може привести до аварії внаслідок перегріву окремих елементів кола або до пробоя ізоляції обмоток трансформаторів, електричних машин, ізоляції кабелів та конденсаторів внаслідок перенапруги на окремих ділянках кола.

В той же час резонанс напруг в електричних колах змінного струму широко застосовується в електроніці та радіотехніці в різних приладах та пристроях, принцип дії яких побудований на використанні явища резонансу.

5.2. Порядок виконання роботи

1. Скласти схему з послідовним з'єднанням котушки індуктивності і блока конденсаторів, що розташовані на панелі №4 (рис 5.3).

2. Встановити вхідну напругу за вказівкою викладача. Враховуючи можливість виникнення великих напруг, дослідження кола треба проводити при напрузі на затискачах джерела не більше 20 В.

3. Увімкнути ємність конденсатора 40 мкФ. Виміряти величини, наведені у таблиці 5.1. Дані вимірювань записати в таблицю.

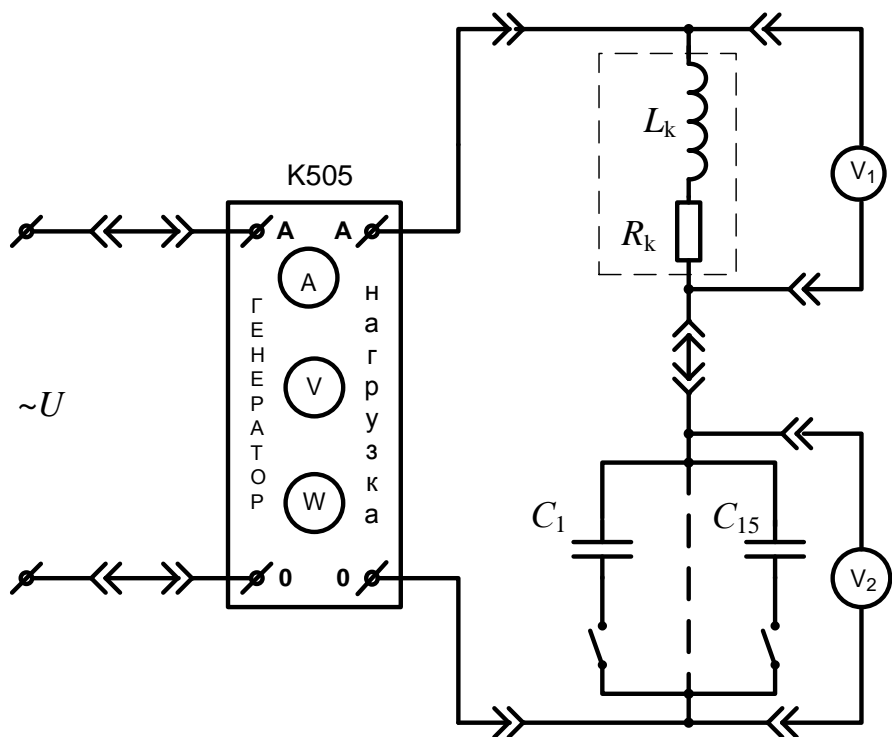


Рис. 5.3

Таблиця 5.1

Номер дослід	Дані вимірювань						Результати обчислень		
	C	I	U	U_1	U_2	P	$\cos \varphi$	X_C	φ
	мкФ	А	В	В	В	Вт	від/од	Ом	град
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

4. Змінювати ємність через однакові значення до C_{\max} . Виміряні величини записати в таблицю 5.1.

5.3. Опрацювання результатів вимірювань

1. За даними вимірювань аналітично розрахувати значення вказані в табл. 5.1 за формулами: $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$, $Z = \frac{U}{I}$, $R = Z \cos \varphi$, $\varphi = \arctg \frac{X_k - X_C}{R}$,
 $f = 50$ Гц, $L = \frac{X_k}{2\pi f}$, $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$.
2. За даними вимірювань табл. 5.1 побудувати векторні діаграми для випадків $C < C_0$, $C = C_0$, $C > C_0$.
3. Побудувати в масштабі на одному рисунку графіки залежностей: $I = f(C)$, $\cos \varphi = f(C)$, $\varphi = f(C)$.
4. За даними в табл. 5.1 написати в комплексній формі вирази опорів котушки, резистора та конденсатора. Зробити висновки про виконану роботу.
5. Записати вираз миттєвого значення струму, вхідної напруги та напруг на котушці індуктивності та конденсаторі.

5.4. Запитання і завдання для самоперевірки

1. Використовуючи результати вимірювань, показати, як виконується другий закон Кірхгофа для діючих значень напруг.
2. Пояснити принцип побудови векторних діаграм. Графічна побудова з допомогою циркуля.
3. Зобразити і проаналізувати, використовуючи відповідні формули, графіки $I = f(C)$ та $\varphi = f(C)$ (для графіка $\varphi(C)$ передбачити зміну знака φ).
4. Навести якісні і кількісні умови, при яких виникає резонанс напруг. В який спосіб можна його досягти?
5. Які явища виникають при резонансі напруг? У чому небезпека і користь резонансу напруг?
6. Написати комплекси напруг на затискачах котушки і конденсатора, для резонансу напруг. Порівняти ці величини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА РЕЗОНАНСУ СТРУМІВ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ КОЛІ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ РЕАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета роботи – дослідити явище резонансу струмів; навчитися будувати векторні діаграми за даними досліду та за їх допомогою аналізувати електричні процеси в колі.

6.1. Основні відомості та рекомендації

В електричних колах синусоїдного струму з паралельним з'єднанням реактивних елементів може виникати резонанс струмів. Це можливо у випадку, коли деякі вітки мають індуктивну складову опору, а деякі – ємнісну. Резонанс струмів – це особливий стан кола синусоїдного струму з паралельним з'єднанням елементів, що виникає коли реактивна індуктивна провідність кола дорівнює реактивній ємнісній провідності цього кола, тобто за умови, що $B_L = B_C$.

Найпростішим електричним колом, в якому виникає резонанс струмів є коло з паралельним з'єднанням котушки індуктивності та конденсатора (рис. 6.1).

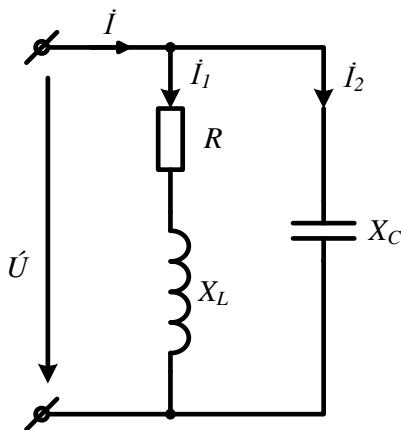


Рис. 6.1

Повна провідність цього кола дорівнює

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}.$$

Умови резонансу струмів $B_L = B_C$ можна записати через відповідні параметри кола. Реактивна провідність котушки, що має активний опір R , визначається таким чином

$$B_L = \frac{X_L}{Z^2} = \frac{X_L}{R^2 + X_L^2} = \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2},$$

а провідність конденсатора таким

$$B_C = \frac{X_C}{Z^2} = \frac{1}{X_C} = \omega C.$$

Тоді умову резонансу можна записати так

$$\frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} = \omega C.$$

З останнього виразу випливає, що резонанс струмів можна отримати, змінюючи один з параметрів R , L , C та ω , за умови, що інші є незмінними.

В лабораторних умовах резонанс струмів досягається шляхом зміни ємності C батареї конденсаторів. Зі зміною ємнісної провідності B_C змінюються повна провідність Y , струм в нерозгалуженій частині кола I та коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ кола. Вказані залежності називаються резонансними кривими. Аналіз цих залежностей показує, що зі зростанням ємності повна провідність кола спочатку зменшується, сягає мінімуму коли $B_L = B_C$, потім зростає. Характер зміни струму такий самий, як і повної провідності, оскільки струм прямо пропорційний повній провідності $I = UY$. Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ із зростанням ємності зростає, приймає максимальне значення під час резонансу, а потім зменшується, наближуючись до нуля, оскільки $\cos \varphi = G/Y$. Аналіз резонансних кривих дозволяє зробити наступні висновки:

1. Повна провідність кола в стані резонансу мінімальна і дорівнює активній провідності $Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = G$.

2. Мінімальна провідність кола спричинює мінімальний струм

$$I = UY = UG.$$

3. Ємнісний струм I_2 та індуктивна складова I_L струму котушки I_1 однакові за величиною, а активна складова струму котушки I_R дорівнює струму I : $I_L = B_L U = B_C U = I_2$; $I_R = GU = YU = I$. Реактивні складові струму I_L та I_2 можуть приймати досить великі значення, які перевищують значення струму I .

4. Реактивна складова повної потужності, яку споживає коло, в стані резонансу, коли $B_L = B_C$, дорівнює нулю: $Q = B_L U^2 - B_C U^2 = Q_L - Q_C = 0$.

5. Повна потужність кола в стані резонансу дорівнює її активній складовій $S = YU^2 = GU^2 = P$.

6. Коефіцієнт потужності кола $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{GU^2}{YU^2} = 1$.

Найпростіші резонансні кола (рис. 6.1) широко застосовуються в радіоелектроніці як коливальні контури, в яких резонанс досягається за певного значення частоти вхідного сигналу.

6.2. Порядок виконання роботи

1. Скласти коло з паралельним з'єднанням котушки індуктивності і блока конденсаторів, що розташовані на панелі №4 (рис 6.2).

2. Встановити вхідну напругу за вказівкою викладача. Дослідження кола треба проводити при напрузі на затискачах джерела не більше 20 В.

3. Змінювати величину ємності в межах від $C = 0$ до $C = C_{\max}$ таким чином, щоб отримати 9 дослідів. Визначити величини наведені в табл. 6.1.

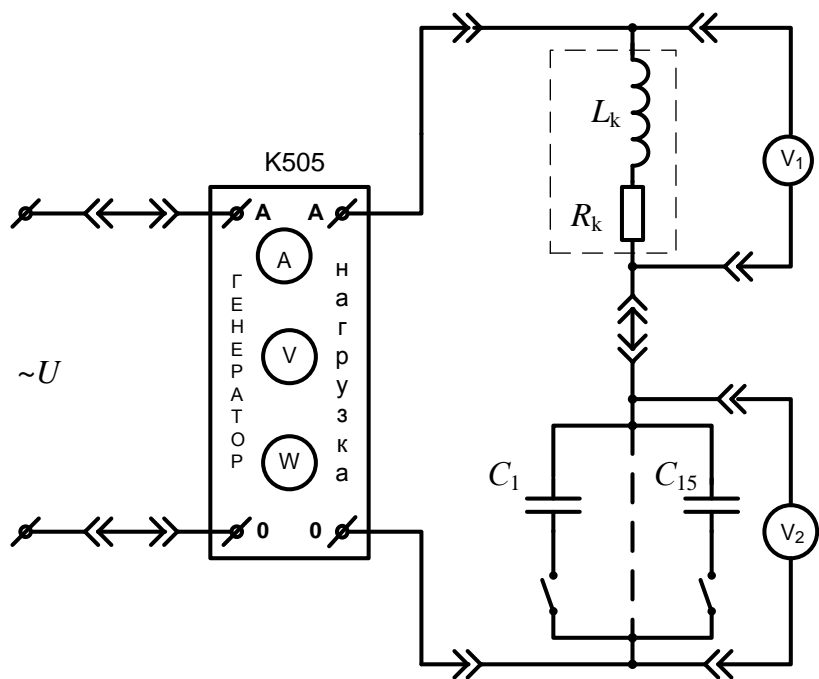


Рис. 6.2

Таблиця 6.1

Дані вимірювань							Результати обчислень	
№	C	I	U	P	I_1	I_2	$\cos \varphi$	φ
	мкФ	А	В	Вт	А	А		град.
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

6.3. Опрацювання результатів вимірювань

1. Визначити величини наведені у табл. 6.1, використовуючи формули: $\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$, $\varphi = \arctg \frac{B_k - B_C}{G}$, $B_k = \sqrt{Y_k^2 - G_k^2}$.

2. За даними табл.6.1 побудувати векторні діаграми для випадків $C < C_0$, $C = C_0$, $C > C_0$.

3. За даними табл. 6.1 побудувати в масштабі на одному рисунку графіки залежностей $I = f(C)$, $\cos \varphi = f(C)$, $I_1 = f(C)$, $I_2 = f(C)$, $\varphi = f(C)$.

4. Написати в комплексній формі за даними табл. 6.1 вирази провідностей котушки і конденсатора для будь якого дослідів. Зробити короткі висновки про виконану роботу.

6.4. Запитання і завдання для самоперевірки

1. Використовуючи результати вимірювань, показати, як виконується перший закон Кірхгофа.

2. Пояснити, як використовуючи покази лише вольтметра та амперметра, будується векторна діаграма для кола.

3. Пояснити і проаналізувати, використовуючи відповідні формули, графіки $\cos \varphi = f(C)$, $\varphi = f(C)$.

4. Навести якісні і кількісні умови, при яких виникає резонанс струмів. У який спосіб можна його досягти?

5. Які явища виникають при резонансі струмів?

6. Яке практичне використання резонансу струмів?

7. Для випадку резонансу струмів напишіть вирази для струмів віток кола. Порівняйте їх величини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ З РЕАКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Мета роботи: Дослідити перехідні процеси в електричних колах з послідовним з'єднанням резистора і індуктивності та резистора і ємності, визначати початкові умови та тривалість перехідних процесів

7.1 Основні теоретичні відомості

Перехідні процеси виникають в електричних колах, що містять індуктивні чи ємнісні елементи. Це пов'язано з тим, що кожному стану електричного кола відповідає визначений запас енергії в магнітних і електричних полях реактивних елементів. Перехід до нового режиму пов'язаний з перерозподілом цих енергій.

Значення струму в індуктивності та напруги на ємності в момент часу безпосередньо перед комутацією (t_{-0}) називаються початковими або граничними умовами. Якщо $i(t_{-0})=0$ чи $u_c(t_{-0})=0$, то такі початкові умови називають нульовими.

Початком відліку часу перехідного процесу вважається час безпосередньо після комутації (t_{+0}), а час моменту комутації вважається рівним нулю, тобто $t=0$.

На рисунку 7.1 подана схема приєднання до джерела електричного кола з послідовним з'єднанням R і L елементів.

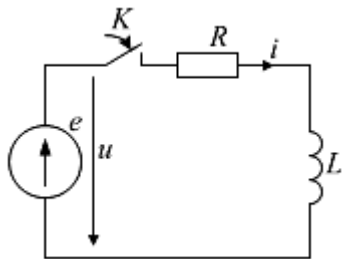


Рис. 7.1

Диференціальне рівняння кола після замикання ключа K (після комутації) має вигляд:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = e(t).$$

Загальне рішення цього рівняння визначає струм у колі:

$$i(t) = i' + i'' = i' + Ae^{pt}$$

Для визначення вільної складової складається характеристичне рівняння і визначається його корінь:

$$Lp + R = 0, \quad p = -\frac{R}{L}.$$

Вільна складова буде мати вигляд:

$$i'' = A \frac{R}{L} e^{-\frac{R}{L}t} = A \frac{t}{\tau}, \text{ де } \tau = \frac{L}{R} \left(\frac{Гн}{Ом} = \frac{Ом \cdot сек}{Ом} = сек \right) - \text{стала часу кола.}$$

Вимушена складова струму i' визначається з розрахунку кола, отриманого після комутації для заданої ЕРС $e(t)$, тобто розрахунком нового ви-

мушеного режиму. Потім, відповідно до початкових умов, визначається і постійна інтегрування A .

З загального рішення для вільної складової струму очевидно, що теоретично перехідний процес закінчується за час $t = \infty$, однак практично вважають, що він закінчується до моменту часу $t = (4 \dots 5)\tau$. Стала часу τ визначається дотичною до вільної складової.

7.2 Послідовність виконання роботи

1. Електричне коло з послідовним з'єднанням резистора R і котушки з активним опором R_k та індуктивністю L_k приєднується за допомогою перемикача до ідеального джерела постійної ЕРС (положення 1), а потім, після закінчення перехідного процесу, відключається від джерела і замикається на розрядний

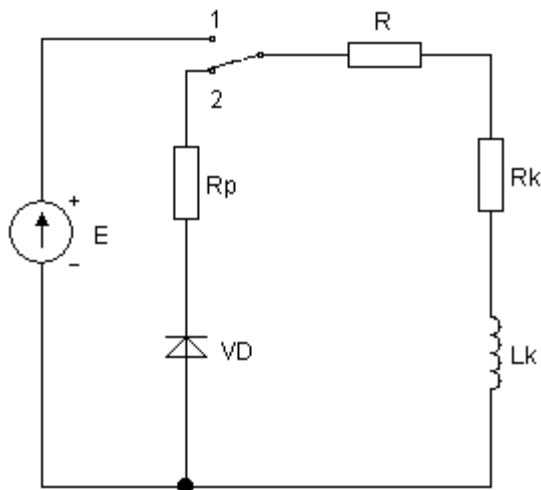


Рис. 7.2

дний резистор R_p з послідовно ввімкненим з ним діодом VD у прямому напрямку (положення 2), рис. 7.2.

Відповідно до варіанту завдання, виконати наступне:

1.1. Записати вирази для перехідних напруги на котушці та струму в колі після вмикання кола до джерела і відключення кола від джерела та замикання на розрядний резистор R_p . Визначити значення цих змінних через проміжки часу $t = \tau$ і записати їх в таблицю 7.2.

Таблиця 7.1

Параметри кола				Параметри джерел	
L_k , Гн	R_k , Ом	R , Ом	R_p , Ом	E (пос. напруги), В	E (син. напруги), В

1.2. Побудувати модель для дослідження перехідних процесів. Для дослідження процесу вмикання кола до джерела постійної напруги використати постійно розімкнені контакти реле часу, а для дослідження процесу відключення його від джерела та замикання на розрядний резистор постійно замкнені. Для спостереження часових діаграм напруги на індуктивності та струму в колі приєднати осцилограф, рис. 7.3.

Таблиця 7.2

Проміжки часу t	Вмикання кола				Відключення кола			
	Результати розрахунку		Результати моделювання		Результати розрахунку		Результати моделювання	
	$u_k, \text{В}$	$i, \text{А}$	$u_k, \text{В}$	$i, \text{А}$	$u_k, \text{В}$	$i, \text{А}$	$u_k, \text{В}$	$i, \text{А}$
τ								
2τ								
3τ								
4τ								
5τ								

1.3. Виконати моделювання. Одержати осцилограми напруги на затискачах котушки і струму в колі за допомогою розширеної моделі осцилографа. Визначити значення змінних через проміжки часу $t = \tau$. Результати записати в табл. 7.2.

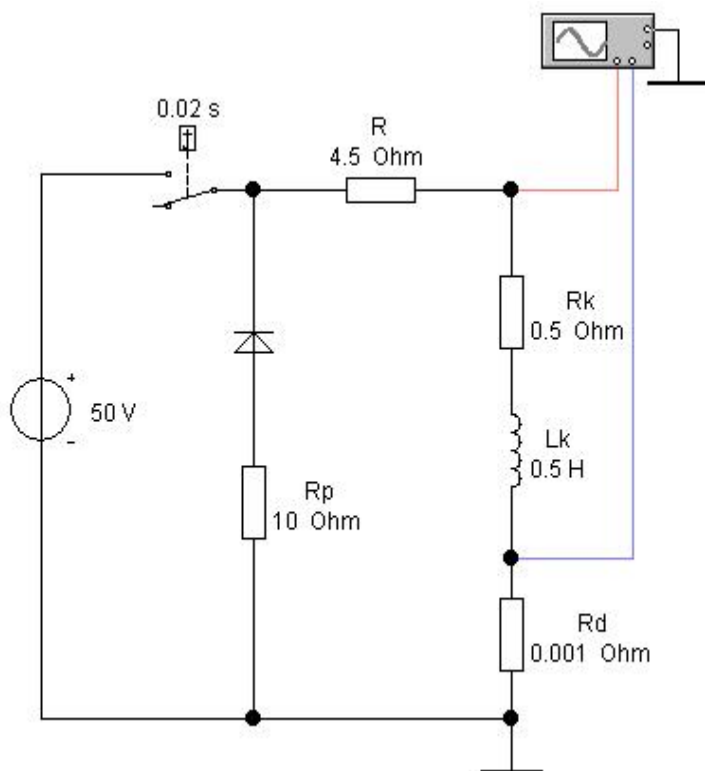


Рис. 7.3

1.4. Замінити в моделі джерело постійної ЕРС джерелом синусоїдної ЕРС промислової частоти і виконати дослідження перехідного процесу у випадках вмикання кола до джерела з початковими фазами ЕРС $\psi_e = \varphi$ і $\psi_e = \varphi + \pi/2$.

1.5. Визначити за осцилограмами максимальні та амплітудні значення струму відповідно в перехідному і близького до сталого режимів та записати їх значення в таблицю 7.3.

2. Конденсатор ємністю C , приєднаний до

ідеального джерела постійної ЕРС через послідовно з'єднаний з ним резистор R_1 (перемикач в положенні 1), відключається від джерела і розряджається на резистор R_2 (положення 2), а потім, після закінчення перехідного

процесу, знову підключається до джерела (положення 1) рис. 7.4. Відповідно до варіанту завдання, табл. 7.4, виконати наступне:

2.1. Побудувати модель для дослідження перехідних процесів. Для спостереження часових діаграм напруги на ємності та струму в колі приєднати осцилограф, рис. 7.5.

Таблиця 7.3

Значення струму в колі відповідно в перехідному і близького до сталого режимів			
За умови $\psi_e = \varphi$		За умови $\psi_e = \varphi + \pi/2$	
I_{\max}, A	$I_m, \text{A}, t = \infty$	I_{\max}, A	$I_m, \text{A}, t = \infty$

2.2. Виконати моделювання. Одержати осцилограми напруги і струму ємності за допомогою розширеної моделі осцилографа. Лінією прокручування вивести осцилограми на екран осцилографа і визначити значення змінних через проміжки часу $t = \tau$. Результати записати в таблицю 7.5.

Таблиця 7.4

Параметри кола			
$C, \text{мкФ}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$E, \text{В}$

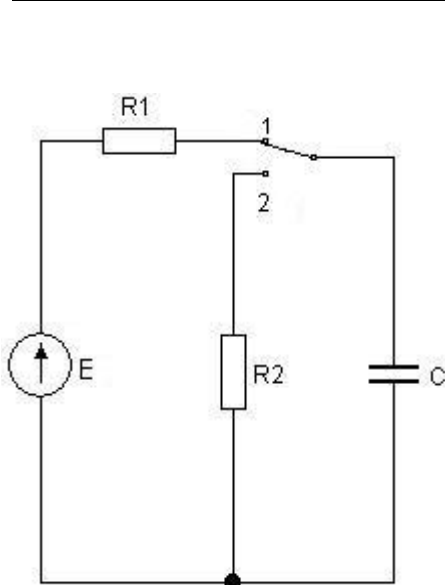


Рис. 7.4

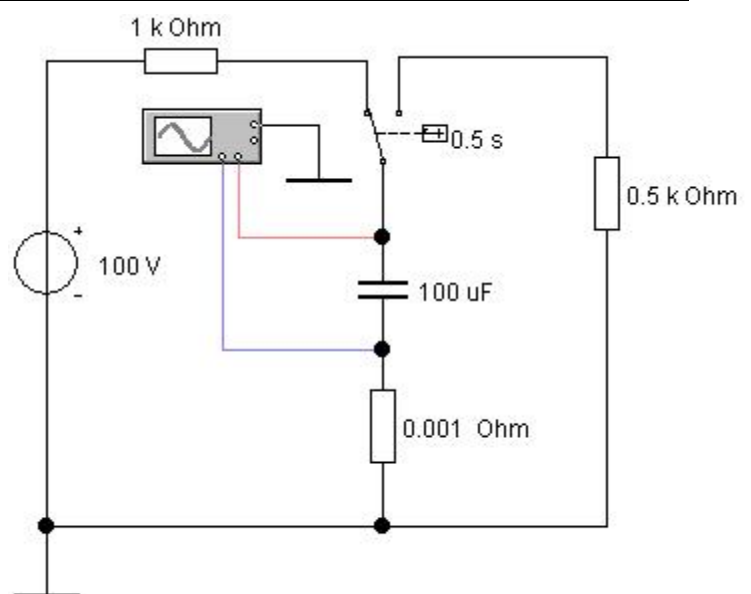


Рис. 7.5

2.3. Побудувати залежності перехідних змінних відповідно до пунктів 1.1 і 2.1. Порівняти результати розрахунків та моделювання і зробити висновки. У звіті привести осцилограми напруг і струмів у вигляді рис. 7.6.

Таблиця 7.5

Проміжки часу t	Відключення від джерела				Підключення до джерела			
	Результати розрахунку		Результати моделювання		Результати розрахунку		Результати моделювання	
	$u_c, \text{В}$	$i, \text{А}$	$u_c, \text{В}$	$i, \text{А}$	$u_c, \text{В}$	$i, \text{А}$	$u_c, \text{В}$	$i, \text{А}$
τ								
2τ								
3τ								
4τ								
5τ								

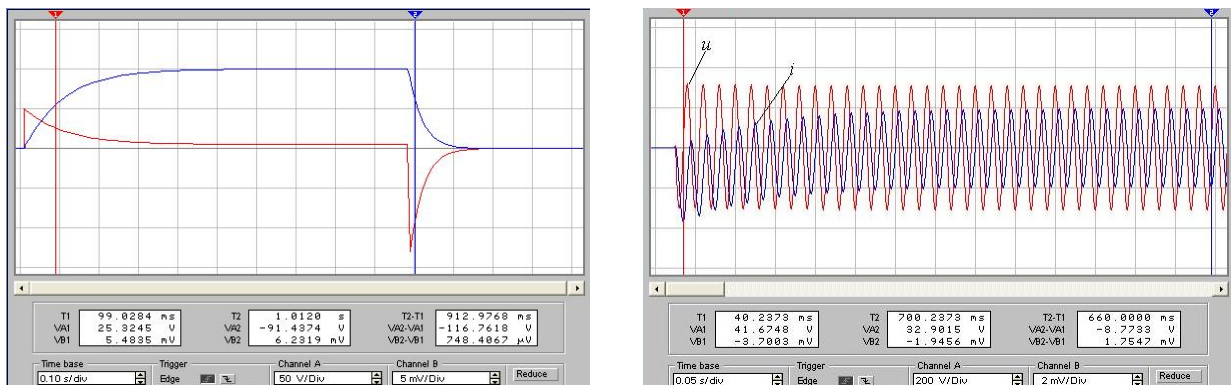


Рис. 7.6

7.3 Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть причини виникнення перехідних процесів в електричних колах.
2. Сформулюйте закони комутації.
3. Пояснити суть класичного методу розрахунку перехідних процесів в електричних колах та дати визначення їх вимушеної та вільної складових.
4. Дати пояснення до визначення початкових умов та постійних інтегрування в розрахунках перехідних процесів класичним методом.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПРЯМНИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи: дослідити малопотужні випрямні пристрої, що працюють від однофазної мережі змінного струму.

8.1 Основні теоретичні відомості.

Найпоширенішим джерелом постійного струму є випрямляч – пристрій, що перетворює змінний струм у постійний. Типова структурна схема випрямляча складається з наступних основних елементів (рис. 8.1): трансформатора (Тр), одного або декількох діодів (БД), згладжувального фільтра (ЗФ), стабілізатора (Ст).

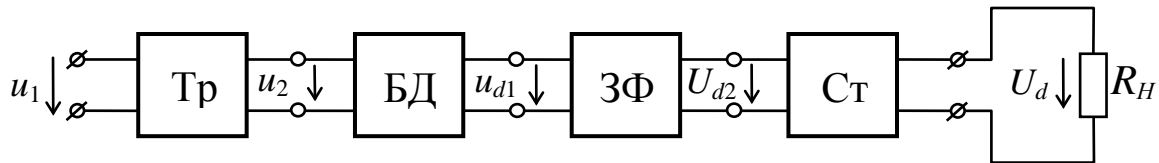


Рис. 8.1

При випрямленні однофазного змінного струму найпростішими схемами випрямлення є одно- і двопівперіодна однофазні схеми. Схема однопівперіодного випрямлення з активним навантаженням зображена на рис.8.2. У цій схемі струм через діод і опір навантаження протікає тільки

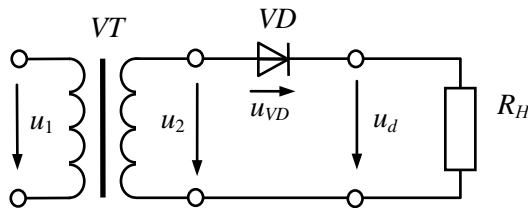


Рис. 8.2

протягом додатного півперіоду змінної напруги U_2 . Такий струм має пульсуючий характер, тобто протікає в одному напрямку й змінюється від нуля до максимального значення I_{dm} .

Значенням струму, що протікає за період через опір R_H

$$I_d = \frac{I_{dm}}{\pi} = 0,318 I_{dm}. \text{ Постійна складова}$$

випрямленої напруги $U_d = I_d R_H = \frac{I_{dm}}{\pi} R_H = 0,318 U_{2m}$. Замінивши амплітудне значення напруги U_{2m} діючим, одержимо $U_d = 0,45 U_2$.

Частота пульсацій напруги на навантаженні в однопівперіодній схемі дорівнює частоті мережі. Пульсації випрямленої напруги звичайно характеризуються коефіцієнтом пульсацій: $K_{\Pi} = \frac{U_{m\sim}}{U_d}$, де $U_{m\sim}$ – для однопівпері-

одної схеми амплітуда першої гармоніки $U_{m\sim} = \frac{U_{2m}}{2} = \frac{\pi U_d}{2} = 1,57 U_d$.

Великий коефіцієнт пульсацій $K_{\Pi}=1,57$ – основний недолік однопівперіодної схеми випрямляча.

Схема двупівперіодного випрямляча зображена на рис.8.3. Розглянутий двупівперіодний випрямляч являє собою сполучення двох однопівперіодних випрямлячів із спільним навантаженням. При цьому напругу U_2 на кожній половині вторинної обмотки трансформатора можна розглядати як дві незалежні синусоїдні напруги, що зсунуті по фазі одна відносно іншої на кут 180° .

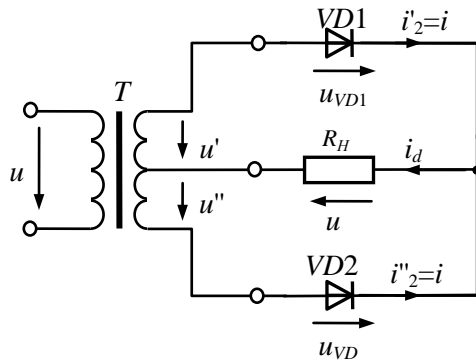


Рис. 8.3

Постійна складова струму дорівнює його середньому значенню $I_d = \frac{2}{\pi} I_{dm}$, а постійна складова напруги: $U_d = I_d R_H = \frac{2}{\pi} I_{dm} R_H = \frac{2}{\pi} U_{2m}$, де U_{2m} – амплітудна напруга половини вторинної обмотки трансформатора. Середня напруга на навантаженні при двопівперіодній схемі збільшується вдвічі в порівнянні з однопівперіодною схемою випрямлення. Вираз середнього значення випрямленої напруги на навантаженні, через діюче значення напруги на половині вторинної обмотки трансформатора, має вигляд $U_d = \frac{2U_{2m}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} = 0,9U_2$. У цьому випадку коефіцієнт пульсації $K_{\Pi} = \frac{U_{m\sim}}{U_d} = 0,667$.

Випрямляч, виконаний за мостовою схемою (рис. 8.4), дозволяє одержати двопівперіодне випрямлення змінного струму.

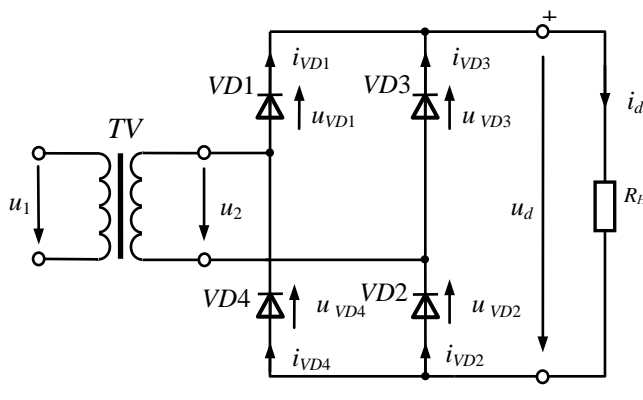


Рис.8.4

Розглянуті схеми випрямлення мають відносно великі значення коефіцієнта пульсацій, які можна значно знизити, якщо на виході випрямляча ввімкнути згладжувальний фільтр.

Найпростішими фільтрами є конденсатор C_{Φ} , що включається паралельно навантажувальному опору R_H (ємнісний фільтр) і індуктивна котушка (дросель) L_{Φ} , що

включається послідовно з навантаженням (індуктивний фільтр) рис. 8.5.

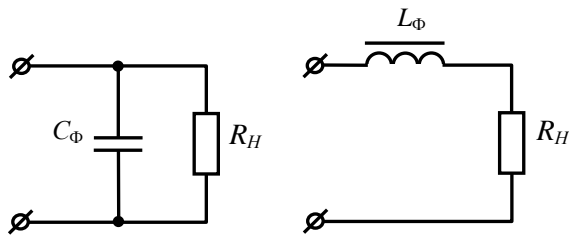


Рис. 8.5

майже нулю. Конденсатор, шунтую опір навантаження, пропускає через себе значну частину змінної складової випрямленого струму, так як значення опору $X_{C_Ф} = \frac{1}{\omega C_Ф}$ значно менше опору навантаження R_H . Для постійної

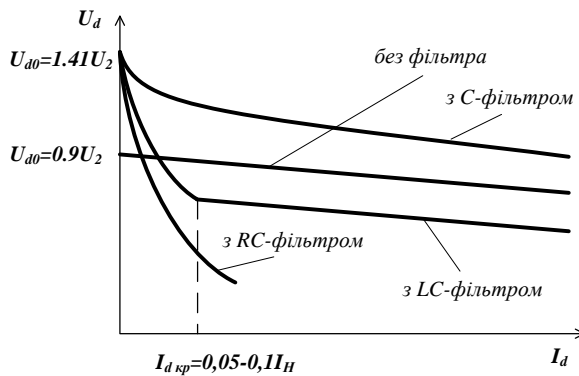


Рис. 8.6

Дія дроселя зводиться до того, що через нього не проходить значна частина змінної складової напруги, так як його опір $X_{L_Ф} = \omega L_Ф$ значно більше навантажувального опору R_H . Для постійної складової випрямленого струму індуктивний опір дроселя дорівнює

складової значення $X_{C_Ф}$ нескінченно велике, тому постійна складова випрямленого струму проходить через опір навантаження.

Найважливішою характеристикою випрямляча є зовнішня (рис. 8.6), що представляє собою залежність випрямленої напруги U_d від струму навантаження I_d , і одержувана при постійній напрузі мережі U_1 , тобто $U_d = f(I_d)$ при $U_1 = const$

8.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з експериментальною установкою (рис. 8.7), приладами та устаткуванням.
2. Підключити необхідні вимірювальні прилади і джерело регульованої синусоїдної напруги $\sim 0 \dots 220$ В. Встановити напругу $U_1 = 220$ В.
3. Зібрати схему однопівперіодного випрямляча без фільтра (вимикачі B_2, B_3 і B_4 – розімкнені, B_5 і B_6 – замкнені, B_1 перебуває в положенні "1").
4. Замалювати в загальних координатних осях осцилограми напруги на вторинній обмотці трансформатора U_2 і випрямленої напруги на опорі навантаження U_d . Покази вимірювальних приладів записати в табл.8.1.

5. Виконати завдання, аналогічне п.4, при включенні в схему випрямляча згладжувального фільтра: індуктивного; ємнісного; індуктивно-ємнісного (типу $L-C$) Г-подібного; індуктивно-ємнісного (типу $C-L-C$).

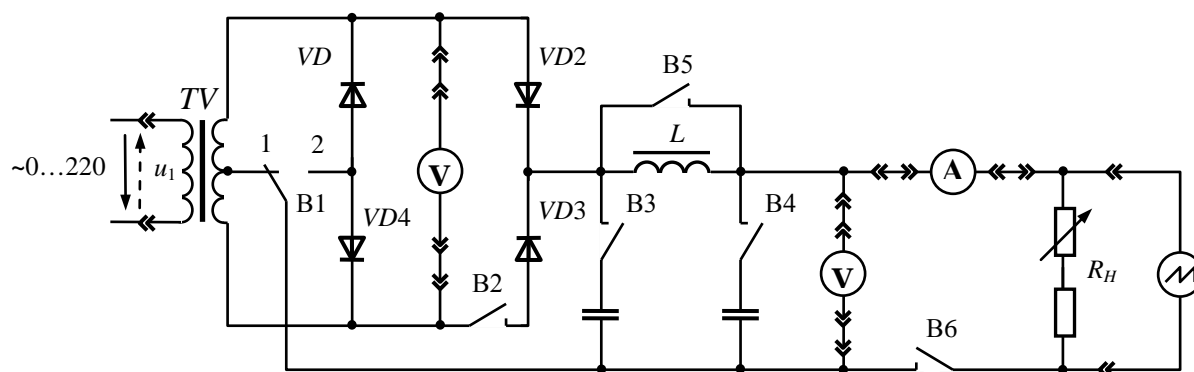


Рис.8.7

6. Зняти зовнішню характеристику однопівперіодного. випрямляча $U_d = f(I_d)$ при $U_1 = \text{const}$ і відсутності згладжувального фільтра, з ємнісним та індуктивним фільтрами. Результати записати в табл.8.2.

7. Зібрати схему двопівперіодного випрямляча з трансформатором із середньою точкою без згладжувального фільтра, (вимикачі B_3 і B_4 – розімкнені, B_2, B_5, B_6 – замкнені, B_1 – у положенні «1») і виконати завдання, аналогічне пп.4-6.

Таблиця 8.1

№	Тип схеми випрямляча	Тип фільтра	Вимірювання				Обчислення				
			U_1 , В	U_2 , В	U_d , В	I_d , А	R_H , Ом	U_{2m} , В	K_{Π}	U_{dp} , В	I_{dp} , А
1	Однопівперіодний	–									
2		C									
3		L									
4		C – L									
5		C – L – C									
6	Двопівперіодний з середньою точкою трансформатора	–									
7		C									
8		L									
9		C – L									
10		C – L – C									
11	Двопівперіодний (мостовий)	–									
12		C									
13		L									
14		C – L									
15		C – L – C									

8. Зібрати двопівперіодну мостову схему випрямляча без згладжувального фільтра (вимикачі B_3 і B_4 – розімкнені, B_2, B_5, B_6 – замкнені, B_1 – у положенні "2").

9. За результатами вимірів розрахувати коефіцієнти пульсацій для всіх схем випрямлення без згладжувальних фільтрів.

10. Визначити розрахункові значення випрямлених струму і напруги по навантаженню (I_{dp} і U_{dp}) і зрівняти їх із значеннями, отриманими в ході досліду I_d і U_d , використовуючи результат виміру напруги на вторинній обмотці трансформатора U_2 . Розрахунок виконати для всіх схем випрямлення без згладжувальних фільтрів. Результати обчислень записати в табл.8.1.

11. Побудувати в загальних координатних осях зовнішні характеристики одно- та двопівперіодного випрямлячів без згладжувальних фільтрів.

12. Зробити короткі висновки по роботі.

Таблиця 8.2

Тип схеми ви- прямляча	Тип фільтру	Величина, що вимірюється	Номер виміру					
			1	2	3	4	5	6
Однопівперіодний	--	U_d, B						
		I_d, mA						
Двопівперіодний		U_d, B						
		I_d, mA						
Однопівперіодний	L	U_d, B						
		I_d, mA						
Двопівперіодний		U_d, B						
		I_d, mA						
Однопівперіодний	C	U_d, B						
		I_d, mA						
Двопівперіодний		U_d, B						
		I_d, mA						

8.3 Контрольні запитання і завдання.

1. Поясніть призначення випрямних пристроїв.
2. Назвіть основні типи однофазних випрямних схем.
3. Поясніть принцип дії одно- і двопівперіодної схеми випрямлення.
4. Назвіть типи і поясніть принцип роботи згладжувальних фільтрів.
5. За якими технічних показниками порівнюють випрямні схеми?
6. Поясніть характер зовнішніх характеристик випрямлячів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Мета роботи: Дослідження операційного підсилювача (ОП) з інвертуючим входом. визначення основних параметрів підсилювача за результатами експериментальних досліджень, отримання амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик підсилювача.

9.1. Основні теоретичні відомості

Операційним підсилювачем (ОП) називається підсилювач постійного струму зі значним коефіцієнтом підсилення за напругою ($K_u \rightarrow \infty$), який виготовляється у вигляді інтегральної мікросхеми і має два входи і один вихід. ОП характеризуються великим входним ($R_{вх} \rightarrow \infty$) і малим вихідним ($R_{вих} \rightarrow 0$) опорами.

Умовні позначення операційного підсилювача на електричних схемах наведені на рис. 9.1 - спрощені, без додаткових полів і з додатковими полями.

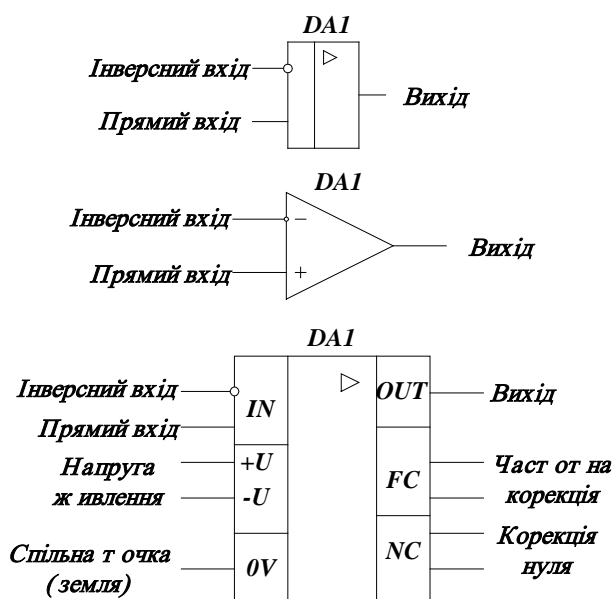


Рис. 9.1

Операційний підсилювач має два входи: - прямий і інверсний. Якщо на прямий вхід подати сигнал, то вихідний сигнал операційного підсилювача матиме ту саму полярність, якщо сигнал постійний і ту саму фазу, якщо сигнал синусоїдний. Вихідний сигнал має протилежну полярність для постійного характеру сигналу і фазу зсунуту на 180° для синусоїдного.

До структури операційного підсилювача входять один або кілька каскадів диференціальних підсилювачів, які стоять на

вході операційного підсилювача і забезпечують заданий коефіцієнт підсилення. На виході операційного підсилювача стоїть емітерний повторювач, який підсилює потужність сигналу і перетворює диференціальну вихідну напругу диференціального каскаду у вихідну напругу відносно спільної точки підсилювача.

До основних параметрів операційного підсилювача відносять:

K_u -коефіцієнт підсилення за напругою;
 K_p -коефіцієнт підсилення за потужністю;
 $U_{вих.макс}$ - максимальне значення вихідної напруги;
 f_H - нижня гранична частота сигналу, що підсилюється;
 $R_{вх}$ - вхідний опір; $R_{вих}$ - вихідний опір.

Важливою для ОП є передаточна характеристика $u_{вих} = f(u_{вх})$, рис. 9.2. Оскільки підсилювач має два входи (прямий і інверсний), то ця характеристика відображає роботу ОП при поданні сигналу на кожний вхід

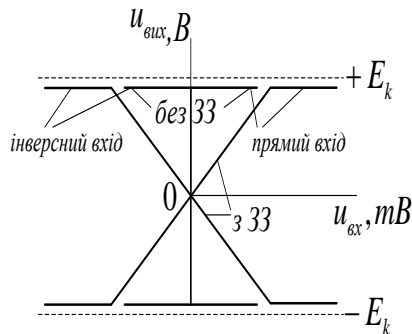


Рис. 9.2

окремо за умови без і з наявністю зворотного зв'язку. Величина вихідного сигналу на виході підсилювача обмежується максимальною напругою $U_{вих.макс}$ додатного чи від'ємного значення, яка досягає $(0.9 \div 0.95)$ напруги живлення E_k . На цих ділянках зміна вхідного сигналу не буде викликати зміни вихідного сигналу, тобто напруга на виході буде залишатись сталою.

На похилих ділянках характеристики величина вихідної напруги буде визначатися коефіцієнтом підсилення

$$K_u = \Delta u_{вих} / \Delta u_{вх}.$$

У випадку наявності сигналів на обох входах ОП, його вхідна напруга визначатиметься алгебраїчною сумою напруг на цих входах

$$\Delta u_{вх} = \Delta u_{вх2} - \Delta u_{вх1}.$$

Враховуючи, що ОП мають незначний діапазон лінійного підсилення вхідного сигналу, вони використовуються з ланками від'ємного зворотного зв'язку. Розглянемо, як приклад, реалізацію функціональних можливостей

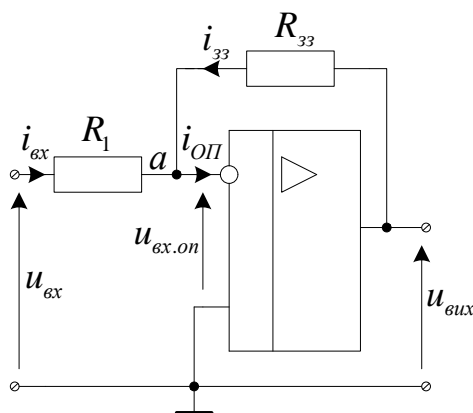


Рис. 9.3

деяких аналогових схем на базі ОП.

Інвертуюче включення операційного підсилювача, рис. 9.3. В схемах таких підсилювачів вхідна напруга $u_{вх}$ подається на інверсний вхід, а вихідна напруга $u_{вих}$ змінюється в проті фазі до вхідної (у випадку синусоїдального сигналу його фаза змінюється на 180°).

Від'ємний зворотний зв'язок реалізується через резистори R_{33} на інверсний вхід ОП. Наявність такого зв'язку призводить до того, що завжди у стані рівноваги $u_{ex\ on} \approx 0$. Звернемо увагу на те, що близькість потенціалу точки **a** до нуля (точку ще називають підсумовуючою) зовсім не означає, що її можна з'єднати із спільною точкою підсилювача, оскільки такий малий потенціал входу ОП є результат дії від'ємного зворотного зв'язку і значного коефіцієнта підсилення підсилювача без від'ємного зворотного зв'язку.

За другим законом Кірхгофа маємо:

$$u_{ex} - u_{ex.on} = R_1 i_{ex}, \quad u_{вих} - u_{ex.on} = R_{33} i_{33}, \quad i_{ex} = u_{ex} / R_1, \quad i_{33} = u_{вих} / R_{33}.$$

Враховуючи, що $R_{ex\ on} = \infty$, то $i_{OP} = 0$ і відповідно $i_{ex} = -i_{33}$, тобто $u_{ex} / R_1 = -u_{вих} / R_{33}$. Звідси отримаємо коефіцієнт підсилення підсилювача за напругою

$$K_u = u_{вих} / u_{ex} = -R_{33} / R_1 = -1 / \beta,$$

де $\beta = R_1 / R_{33}$ - коефіцієнт передачі ланки зворотного зв'язку ОП.

9.2. Послідовність виконання роботи

1. Побудувати експериментальну модель схеми дослідження операційного підсилювача (ОП) з інвертуючим включенням, рис. 9.4. Тип ОП *AR1* КР140УД1408 (зарубіжний аналог *LM-308*, бібліотека *lm 3xx* в середовищі *EWB*), значення резисторів *R1* та *R2* установити наступними: $R_1 = (10 + 2N)$ кОм, $R_2 = 1$ мОм.

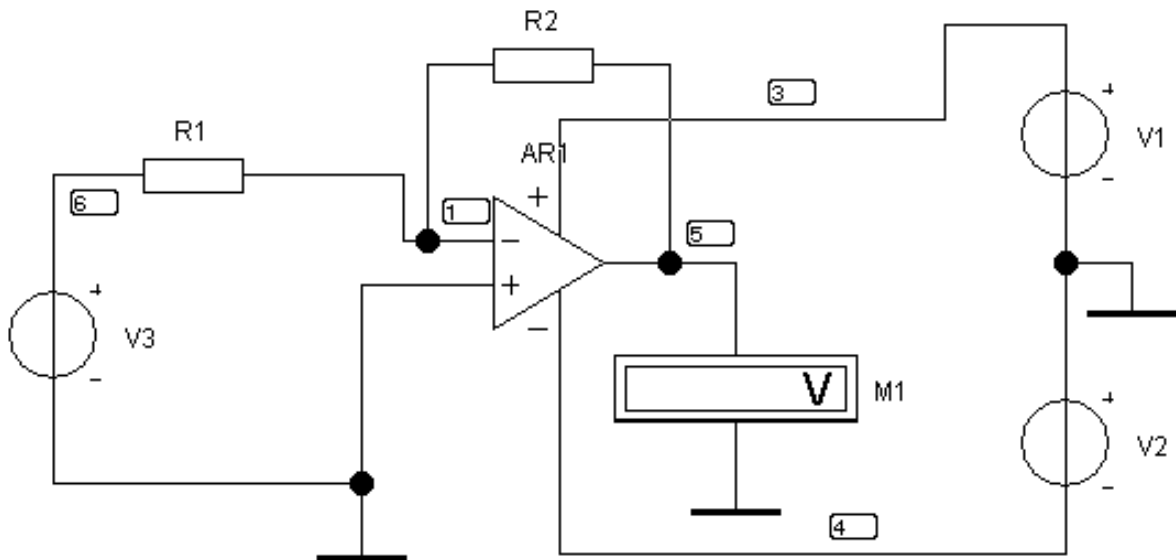


Рис. 9.4

2. Дослідити амплітудні характеристики ОП $U_{вих}=f(U_{вх})$ з інвертуючим входом без і зі зворотнім зв'язком (33).

Примітка: Вхідний сигнал $U_{вх}$ задавати джерелом постійної напруги V3. Значення напруги джерела змінювати приблизно від -1000 mV до $+1000\text{ mV}$, використовуючи опцію Parameter Sweep меню Analysis.

Переміщаючи візирні лінії по ділянкам характеристик, визначити координати їх характерних точок і записати в таблицю 5.1. Визначити максимальну амплітуду вхідного сигналу $U_{вх\text{ max}}$ і коефіцієнт підсилення за напругою K_u в лінійному режимі роботи підсилювача.

Таблиця 9.1

$U_{вх},\text{ mV}$						
$U_{вих},\text{ B}$	Без 33					
	Із 33					

3. Долучити до моделі, що на рис. 9.5, вимірювальні пристрої для дослідження схеми ОП з інвертуючим входом в динамічному режимі, і виконати наступне:

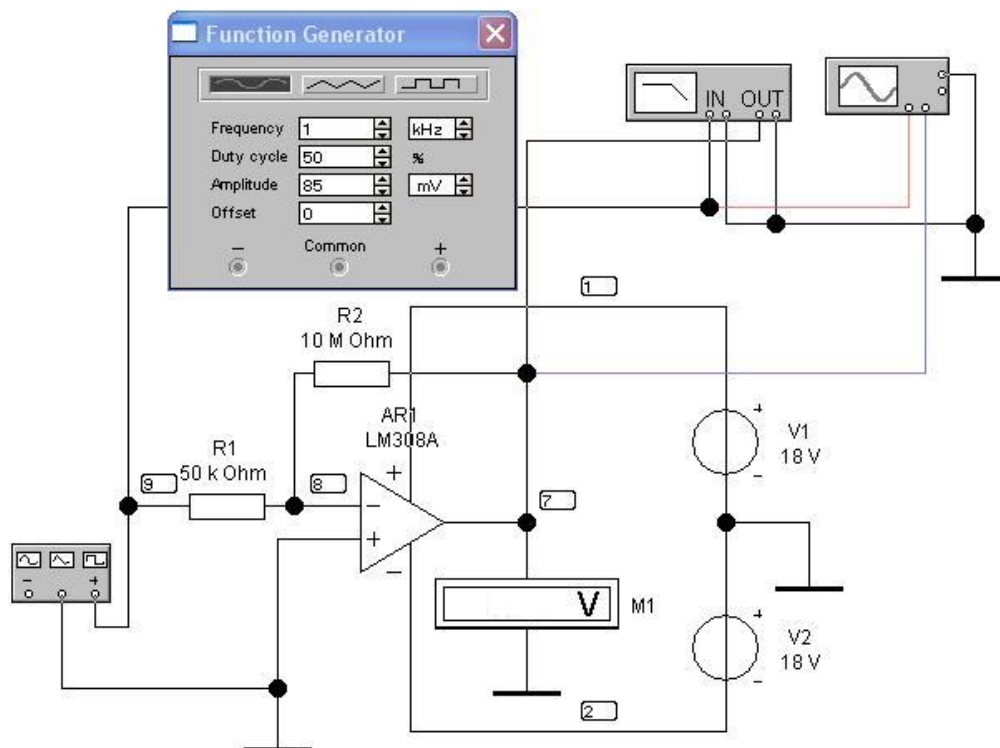


Рис. 9.5

– одержати за допомогою осцилографа часові діаграми вхідного та вихідного сигналів без спотворення вихідного сигналу частоти 1 кГц у вигляді рис. 9.6;

– одержати за допомогою графопобудовника в логарифмічному масштабі амплітудно-частотну характеристику підсилювача в частотному діапазоні $1 \text{ Гц} \div 100 \text{ кГц}$;

Примітка: амплітуду вхідного сигналу установити $U_{\text{вх}} \approx 0.5 U_{\text{вх max}}$ відповідно до амплітудної характеристики ОП зі зворотнім зв'язком.

4. У звіті подати (привести) амплітудні характеристики ОП з інвертуючим входом без і зі зворотнім зв'язком, модель, що на рис. 9.5 та результати моделювання у вигляді рис. 9.6 з показами параметрів елементів моделі та вимірювальних приладів.

Пояснити характер приведених характеристик та результатів моделювання.

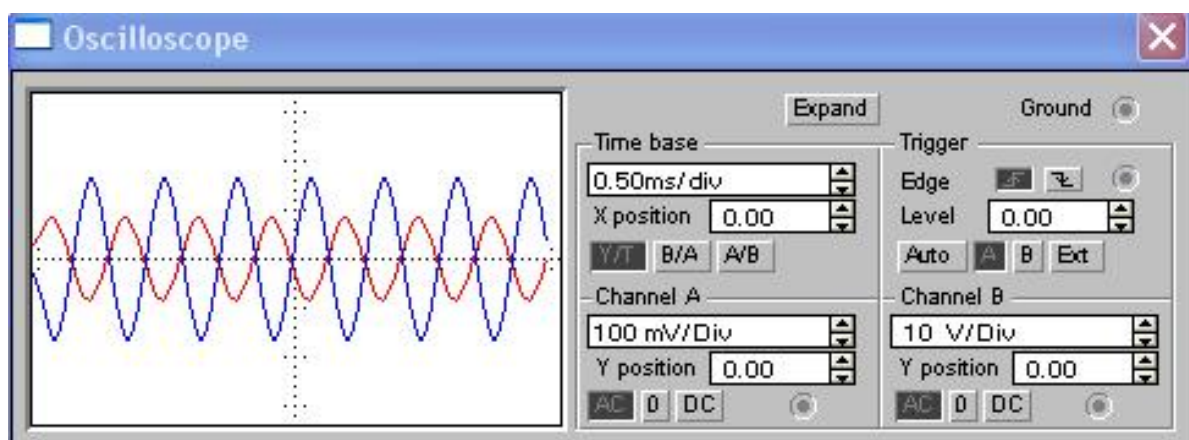


Рис. 9.6

9.3 Контрольні запитання і завдання

1. У чому полягає відмінність операційних підсилювачів від звичайних?
2. Які основні параметри операційного підсилювача?
3. Як впливає від'ємний зворотній зв'язок на амплітудну характеристику підсилювача?

4. На вхід інвертуючого підсилювача на базі ОП подано вхідну напругу $u_{\text{вх}} = 100 \text{ мВ}$. Обчислити опір резистора в ланці зворотного зв'язку ОП, якщо $u_{\text{вих}} = 9.2 \text{ В}$, а опір резистора на інверсному вході 15 кОм . Переконайтесь в результатах розрахунку моделюванням в середовищі EWB.

5. На вхід неінвертуючого підсилювача на базі ОП подано вхідну напругу $u_{\text{вх}} = 120 \text{ мВ}$. Обчислити напругу на виході підсилювача, якщо резистор в ланці зворотного зв'язку ОП 1.0 МОм , а опір резистора на інверсному вході ОП 20 кОм . Результати підтвердити моделюванням в середовищі EWB.